特集「持続可能な未来社会を創るデジタルコモンズ」の発行に寄せて

永 島 直 史

私たちは今，環境，社会，経済のあらゆる側面において「持続可能性」が問われる時代に立っている．この課題に対し，単独の企業や行政，個人だけで応えることの難しさは，誰もが認識しているところである．だからこそ，企業，大学，研究機関，行政，そして生活者を含む多様な主体が価値観を共有し，連携と共創によって新たな解決策を生み出していく「ビジネスエコシステム」の形成が強く求められている．

こうした連携のあり方として「オープンイノベーション 2.0」の重要性は，既に 10 年以上にわたって様々な場で語られてきた．しかしながら，「創発的な協働」――すなわち，多様な参加者がそれぞれ異なる立場・経験・価値観・アセット等を持ち寄り，意味や方向性を共に構築していくプロセス――を通じた知の創造，その推進・拡大，そして新たな知を含めた関係性の再編へと至る取り組みには，いまだ十分に踏み込めていないという課題がある．

BIPROGY は，こうした課題に早くから向き合ってきた．10 年以上にわたり，多くの試行錯誤を重ねながら，さまざまなステークホルダーが集う共創の場を構築し，その中で創発的な対話と実践を促す仕組みの設計に挑戦してきた．そしてその延長線上に，2021 年，Vision2030 として「デジタルコモンズを，誰もが幸せに暮らせる社会づくりを推進する仕組みに育てていく」ことを掲げた．社名を“BIPROGY”と改めることも発表したこの年を起点に，私たちは社会との「信頼」を軸に，開かれた共創と創発のための新たな協働の仕組みを，これまでの取り組みを踏まえて現経営方針（2024-2026）のもとで一層深化させ，未来に向けて積極的に推し進めている．

BIPROGY が提唱する「デジタルコモンズ」は，単なるデータや技術の共有を超え，意味づけ・関係性の再構築といった価値創造のプロセスを支える共創基盤と捉えるべきものである．それはまた，60 年以上にわたって私たちが事業・技術の両面で培ってきた「お客様，そして社会からの信頼」にも根ざしている．私たちは，「デジタルコモンズ」を，オープンイノベーションを深化・拡張させるための「場」と「仕組み」，そして社会課題の解決に向けた「機会」として提示していく．そこには，「光を掛け合わせ，希望ある未来に導く」という“BIPROGY”の社名への思い――多様なステークホルダーのアセットと想いを，つなぎ，重ね，社会価値に昇華させていく意志――が込められている．

この「デジタルコモンズ」の実装は，単なる IT インフラの整備ではない．それは，個の自由と市場効率を優先し過ぎた結果として生じた様々な分断と，共有資源や共創的な知の希薄化といった，20 世紀的な新自由主義の限界を乗り越えるための取り組みである．同時に，分散したままでも緩やかに結び合う社会的連携を再構築する「仕組みの再発明」，すなわち次なる「社会システムのビジョン」でもある．BIPROGY はこの挑戦を単なる理想論にとどめず，これまでの大規模システム開発で培った複雑性の制御・最適化の知見，業界横断の業務知識，社

会システム理論などの学際的知見を生かし，具体的な実践へと昇華させようとしている．

本特集では，BIPROGY が描く「デジタルコモンズ」の構想を 2 部構成で共有する．まず第 1 弾となる本号では，デジタルコモンズの基本的な概念や提供価値を理論的に整理するとともに，共創の場づくり，コミュニケーション支援，エネルギー資源管理，データセキュリティ，サイバーレジリエンスなどの事例を通じて，そのイメージを提示する．そして第 2 弾でも，引き続き具体的な事例を提示しながら，技術的な設計思想，機能要件にも踏み込むことで，更にデジタルコモンズの理解を深めていく予定である．

本特集が，読者の皆さまと共に新たな協力の形を考える契機となり，未来社会に向けて「共に在ることの仕組み」を再設計していくための一助となれば幸いである．

（常務執行役員／ CMO）

デジタルコモンズによる創発的なオープンイノベーションの実現

Realization of Creative Open Innovation through Digital Commons

アルムハメトヴァ　メルエルト

要　約　本稿は，オープンイノベーションが創発的な共創に至らないという限界を踏まえ，創発を持続的に支援する「社会装置」としてのデジタルコモンズの構築を提案するものである．BIPROGY の実践と，SECI モデルおよびアクターネットワーク理論（ANT）の理論的知見をもとに，「共創的な創発の 5 段階モデル」を再整理する．これにより，個人の暗黙知が他者との相互作用を通じて社会的知へと転換され，最終的に知識・制度・製品として社会へ定着するまでの流れについて，「ネットワーク拡大プロセス」を中核的な原理として説明する．さらに，アシュビーの複雑性制御理論（最小多様性の法則・超安定性）と BIPROGY のシステム実践例を通じて，創発を支える基盤における「複雑性の適切なマネジメント」の必要性を示す．デジタルコモンズはこのようなエコシステムにおける創発プロセスを支える社会装置として，情報や知識の共有にとどまらず，意味や関係性の動的な再構築を支援する共創基盤である．BIPROGY は中立性，広範な顧客基盤，大規模トランザクション処理能力，オープンイノベーションの実践知を武器に，この「デジタルコモンズ」を社会実装することで，複雑な社会課題の解決と持続可能な価値創造の実現を図っていこうとしている．

Abstract　This paper proposes the construction of Digital Commons as a “social mechanism” that sustainably supports emergence, taking into account the limitations of open innovation in achieving emergent co-creation. Drawing on the practice of BIPROGY and the theoretical insights of the SECI model and actor-network theory (ANT), this paper reorganizes the “five-stage model of co-creative emergence.” This model explains the process by which tacit knowledge of individuals is transformed into social knowledge through interaction with others, and ultimately becomes established in society as knowledge, institutions, and products, with the “network expansion process” as the core principle. Furthermore, through Ashby’s complexity control theory (law of minimum diversity and superstability) and BIPROGY’s system practice examples, the necessity of “appropriate management of complexity” in the foundation supporting emergence is demonstrated. Digital commons serve as social mechanisms supporting the emergence process in such ecosystems, functioning not only as platforms for sharing information and knowledge but also as co-creation foundations that facilitate the dynamic reconstruction of meaning and relationships. BIPROGY aims to solve complex social issues and realize sustainable value creation by implementing this “Digital Commons” in society, leveraging its neutrality, broad customer base, large-scale transaction processing capabilities, and practical knowledge of open innovation.

1.　はじめに：「より創発的な共創を目指して」

地球環境問題をはじめ，私たちを取り巻く社会課題は複雑化の一途をたどっている．特に，コロナ禍を受けてレジリエンス[*1]や多様性への関心が一層高まり，SDGs に取り組む企業が増える等の新しい動きも見え始めている．こうした中，様々な社会課題に向き合い，実効的な解

決策を模索してきたBIPROGY株式会社（旧日本ユニシス，以降，BIPROGY）とグループ会社（以降，BIPROGYグループ）は「デジタルコモンズ」という概念を2021年から提唱し，「社会的価値」と「経済的価値」の創出という両輪を回すことで持続可能な社会づくりを目指している．

オープンイノベーションを活用して，社会課題に向き合う事業開発を進めるには，新たな「社会装置」が必要である．その「社会装置」は，BIPROGYグループが考える「デジタルコモンズ」を実装・発展させていくことで実現できるという仮説に基づいて，BIPROGYグループは事業開発を進めている．本稿では，その仮説の概要を紹介する．

昨今では顧客課題やニーズが多様化し，デジタル化の加速によってビジネス構造は急速に変化している．そのような状況に対応するため，BIPROGYは，多様な業界の顧客を中心としたステークホルダーと共に新事業の創出を目指している．また，業界の垣根を越えた各種プレイヤーで連携するオープンイノベーションによってビジネスエコシステムをデザインし，社会課題を解決していく活動を続けている．特に，2015年より，新たなコーポレートステートメントForesight in sight®を掲げて活動を強化してきた．

しかしながら，BIPROGYに限らず，日本の企業・団体がこうした共創的な取り組みを通じてオープンイノベーションによる持続的な価値創出を実現するには，いまだ多くの課題が残されている．CVC（Corporate Venture Capital）や，共創スペースの設置，アクセラレータープログラム等による接点形成やアイデアの探索の取り組みは行われているが[1]，実際の事業化・制度化等の価値創造や変革へと至るケースは多くはなく，探索と実装の間の断絶は依然として深刻である．

その背景には，現在のオープンイノベーションの取り組みの多くがベンチャーと大企業との半ば分業的なオープンイノベーションに重点を置いており，その先にある「共創的な“創発”」――すなわち，多様な参加者がそれぞれ異なる立場・経験・価値観・アセット等を持ち寄り，意味や価値を共に構築していくプロセス――を通じた広義の知の生成，その推進・拡大，そして新たな知を含めた関係性の再編に十分に踏み込めていないという問題がある．

その原因として，ベンチャーと大企業のオープンイノベーションにおける活動がお互いにとってブラックボックス化していることが挙げられる．そもそも野中のSECI理論（4章で触れる）等に見るように知の生成の起点は個人であり，共創的な創発とは，個人の内発的な気づきや問題意識が，他者との相互作用を通じて外化され，共有され，さらに広い文脈の中で意味づけられ，他者やあらゆるアセットを組み込んで価値を創造していくプロセスである．ところが，お互いのプロセスがブラックボックス化されていると，制度設計や組織間連携の枠組み（ステージゲート法等）ばかりが先行してしまい，個人の主観的な知が組織的プロセスの中で埋没・抑制されてしまいがちである．また，情報や意思決定のロジックが断片化・表層化し，共創的な知や意味の生成に繋がりにくくなってしまう．

特に，企業，大学，研究機関，政府等に加えて市民をも巻き込んだ共創を図るオープンイノベーション2.0において，共通的な社会課題の解決を目指す場合，様々なステークホルダーが目的から始まり共通価値を共創していかなければならない．この際に，「お互いの領域には踏み込まない」ということでは難しい．こうした状況を打開するためには，「共創的な創発プロセス」の原理を，個人のレベルから理解する視点が不可欠である．

本稿の目的は，こうしたオープンイノベーションのプロセスのあるべき姿を明確に描き，そ

して BIPROGY が考えるデジタルコモンズの目指す姿に対して示唆を与えることである．まず 2 章で，創発的な共創を支える社会装置としてのデジタルコモンズ構想を述べた後，3 章では，創発プロセスを支えるシステム設計の観点から，複雑性への対応方法を理論と実践の両面で説明して，4 章では，ネットワーク拡大プロセスとしての共創的な創発を 5 段階モデルで整理する．

なお，デジタルコモンズは，社会的課題や技術環境の変化に応じて今後も進化していく概念であり，2 章で見ていくように，本稿ではデジタルコモンズを「デジタル技術を用いて共創的な創発を可能にする社会装置」として構想している．また，将来に向けた可能性も併せて考察する．

2. デジタルコモンズの構想と社会的背景

創発的な共創を支える社会装置としてのデジタルコモンズ構想と，その背景を述べる．

2.1 従来のコモンズおよび Digital Commons の定義と限界

「コモンズ（Commons）」の概念には，多少の揺らぎがあり，「オープンなもの」と「利用が一定の集団に限られるもの」，更には「利用の制限がないもの」と「利用にあたって種々の権利・義務関係が伴うもの」もあるが[2]，大まかには特定の個人等に独占されず共同体で何らかの形で共有・管理される資源を指し，中世ヨーロッパの入会地や漁場等が典型例だと言われる．共有地の悲劇[*2]を回避し持続可能に管理するためには，利用者間の一定のルールとガバナンスが有効であることをエリノア・オストロムらが示した[3]．さらに近年，行き過ぎた自由競争による経済格差や環境問題といった課題への反省から，持続可能性・包摂性・協調を重視する新たな社会モデルの模索が進み，その文脈でコモンズが再注目されている．

デジタル技術の発展は，こうしたコモンズ概念をサイバースペースへも拡張し，Digital Commons（DC）の概念を生み出した．一般に DC と呼ばれるものは「デジタル空間上の共有地」として，特定の個人や企業に独占されず社会全体で共有・管理されるべきデジタル情報資源やプラットフォーム，プロトコル等を指す．例えば，オープンデータ，オープンソースソフトウエア，標準化データ形式，共有デジタルインフラ等が含まれる．

このような DC は，知的財産（情報やソフトウエア）等の非排他的資源を対象とすることが多く，主に個人や技術者コミュニティ内で「静的なデータベース」のような形で利用されるケースが多かった．しかし，これらの DC は，あくまで資源を蓄積・共有することに焦点が当たり，参加者間の関係性を変化させたり，新たな意味を生成したりするような「創発」の支援装置とはなっていなかったという限界がある．

2.2 社会装置としてのデジタルコモンズ

社会装置としての「デジタルコモンズ」は，従来のデータベース型の DC やオープンソースコミュニティのように，情報資源を静的に共有する仕組みとは一線を画す．それは，より現代的な技術環境と BIPROGY がこれまで培ってきた実践知に根差して再構成された，動的な共創プラットフォームとして位置づけられる．

従来の DC が「何を共有するか（コンテンツ）」に重点を置いていたのに対し，社会装置としてのデジタルコモンズは，「どのように共創が持続し，進化するか」というプロセスとの関

係性に重きを置いている．すなわち，単なるデータやインフラの共有にとどまらず，モノや人，通貨，サービス，製品，知識といった多様なアセット（資源）を対象とし，それらを協調的に組み合わせ，活用する仕組みとして構想される．その実現には，デジタル技術の活用はもとより，信頼性の高い連携基盤，人やアセットを柔軟に繋げられるような構造，自律的に進化するエコシステム設計，そして持続可能性を担保するガバナンスといった要素が不可欠となる．

こうした構想は，「オープンイノベーション2.0」の実現とも密接に関係している．従来のオープンイノベーション（1.0）が企業間の競争優位の獲得を目的に，外部資源を探索・導入するプロセスとして捉えられてきたのに対し，オープンイノベーション 2.0 では，社会課題の解決を起点とし，企業，行政，市民，研究機関，NPO（Non-Profit Organization）等が連携して社会を再設計するような協調的ネットワークの構築が重視される[4]．

このような環境においては，単なる情報や資源のやり取りを超えて，「関係性そのものを動的に再構成し，持続的に発展させる場の設計」が鍵を握る．社会装置としてのデジタルコモンズはまさにそのような「創発の場と仕組み」として機能することを目指しており，知や意味が動的に生成・翻訳される場を社会に埋め込む試みであり，多様な主体による創発や社会デザインを支える基盤である．

なお，こうした「場」は，物理的な空間に限らず，オンライン上のプラットフォーム，特定テーマを共有するコミュニティ，地域・業種を超えたビジネスネットワーク等，多様な形態をとり得る．重要なのは，それらがいずれも共創的な創発を促す構造とプロセスを内在化しているという点である．

社会装置としてのデジタルコモンズを設計する上では，本節で述べたような創発プロセスの原理的な理解が重要である．これを理解するためには，例えば，スマートウォッチという装置と関連付けると想像しやすい．

初期のスマートウォッチは歩数や心拍数の測定といった健康維持に関連する機能をバラバラに保持していたに過ぎなかった．しかし，近年 Garmin[*3] や Galaxy Watch[*4] のシリーズでは，そういった測定値を「身体のエネルギーの補填と消費」という共通指標をハブとすることで，それらを有機的・統合的に管理している．つまり，あらゆる健康に関する活動や状態を，エネルギーを創出・消費するメカニズムとして扱い，全体としての身体パフォーマンスの最適化を促す働きを実現している．これは，バラバラに存在していた機能を一つの装置として再編成した好例と捉えることができる．

同様に，社会装置としてのデジタルコモンズにおいても，「エコシステムとしての共創的な創発」に繋げるためのハブとなる中核的な概念・指標を置き，オープンイノベーションにおいて個人や組織が行う多様な活動――課題発見，発信，探索，実装等――を，その中核的な概念・指標を軸に全体を有機的，機能的に統合・促進することを目指す．

そうしたオープンイノベーションのハブとなる概念や軸となるものが何かを，創発プロセスを紐解きながら，4 章で見つけていく．

なお，近年では欧州を中心に，公共政策のレベルで DC の活用が推進されており[5]，日本国内でもデジタル庁等が中心となってエコシステムの構築が進められている[6]．BIPROGY は，こうした社会的潮流にも呼応しながら，自らの技術力と実践知を活かして，社会装置としての視点に基づいて，次世代の共創インフラとしての「デジタルコモンズ」の社会実装に取り組んでいる．

3. オープンイノベーションの実現に向けた複雑性のマネジメント

本章では，創発プロセスを支えるシステム設計の観点から，複雑性に対処するための理論的基盤として W. R. アシュビー（以降，アシュビー）のサイバネティクス理論を取り上げる．

3. 1　複雑性に対処する営みとしての企業活動とシステム

企業活動の本質とは，不確実で複雑な環境の中に秩序や意味を見出し，限られた資源を最適に配分することで，価値創出の構造を形成・拡大する営みであると捉えることができる．そして，それを支える枠組みとして広義の「システム」もまた，そうした複雑性を処理・縮減するための枠組みとして機能してきた．例えば社会システム論を展開したニクラス・ルーマンは，システムを「複雑性の縮減」を担うものと捉え，環境に存在する膨大な可能性から選択を行い，その意味や構造を通じて行為の可能性を形成するとしている[7]．

BIPROGY がこれまで展開してきた各種の情報システム，例えば金融機関向けミドルウエアである「MIDMOST[*5]」等はまさに，顧客企業の直面する複雑性を扱いやすい構造に変換し，業務の効率性・透明性・安定性を実現してきた好例であり，こうした取り組みは，企業活動における複雑性への対応の実装的知見を内包していると言える．

3. 2　アシュビーの複雑性の制御に関する理論

システムの複雑性を制御・最適化するための理論的基盤として，サイバネティクス（制御と通信に関する学問）の古典的原理である，アシュビーが提唱した概念に注目する．アシュビーは生物や機械に共通する制御原理を探求し，システムが複雑な環境下でも安定性を維持する条件を数学的に明示した．

その中核として「最小多様性の法則」に注目する．これは，制御システムＳが環境Ｅを制御するには，制御システムＳの多様性Ｖ（S）が環境Ｅの多様性Ｖ（E）以上でなければならないという原理で，多様性とはシステムや外部環境が取りうる「状態の数」を指す．外部からシステムへの入力が多様であればあるほど，システム側にも十分な対応のオプションがなければ制御・適応できないということである[8]．

アシュビーはこの法則を満たすため，次の二つの戦略を示した．

1）外部多様性の抑制

環境Ｅの多様性を減らし，制御システムＳが扱いやすい範囲に収める．例としては，監視システムがセンサーデータから異常パターンのみ抽出する，複数規格を共通フォーマットに変換する等が挙げられる．効率化できるが，過度な封じ込めは未知の変化への適応力を低下させるリスクがある．

2）内部多様性の増幅

制御システムＳ自身の多様性を拡張し，環境Ｅの多様性に対応する．例としては，モジュール化で機能を付け替えるシステム等が挙げられる．柔軟性が増す一方，設計・運用の複雑化やコスト増大を招く可能性がある．

さらに，アシュビーは「超安定性理論」を提唱した．これは，システムが自己改造能力を持ち，予測不能な外乱や環境変化にも適応し続ける性質を指す．鍵はフィードバックループの組み込みであり，環境の変化を常に感知し，内部状態を調整することで長期的な安定性とレジリ

エンスを確保できる．

3. 3　BIPROGY における複雑性の制御の実践例

こうしたアシュビーの理論は，BIPROGY が長年の大規模システム開発で培った多様なシステムや価値観が交差・結節する領域における複雑性のマネジメント手法にも色濃く反映されている．BIPROGY の技術者たちは，現場の実践知として，異なる領域のシステム連携プロジェクトにおいて次のようなステップで複雑性に対処してきたと捉えられる．

1）問題の発見と要件定義　（外部多様性の把握）

まず顧客システムと外部環境との「境界」「結節点」を徹底的に洗い出し，現状の V（S）と V（E）を棚卸しする．例えば異なるシステム間のデータ連携におけるプロトコル不一致，多様な利用者のアクセスパターン，新規規制要件の追加等が環境側の多様性要因として認識され，一方で既存システムの処理能力やインターフェース，セキュリティ機能等が制御側の多様性要因として評価される．このフェーズでは技術要件の洗出しに留まらず，ビジネスプロセスや組織文化といった広範な要素も考慮しながら，複雑性が最大化する領域で何が問題となっているかを定義する．

2）信頼性・堅牢性の先行確保　（外部多様性の抑制）

次に，アシュビーの戦略の一つである「外部多様性の抑制」に相当するアプローチで，システムの信頼性と堅牢性を担保するガードレール（柵）を設計する．予期せぬ外部からの多様性（不正アクセス，異常データ入力，過負荷等）が内部に流入して制御不能に陥るのを防ぐため，強力なセキュリティ機能，厳格な入力バリデーション，エラーハンドリング，容量計画等を駆使し境界に防御柵を築く．

例えば，金融機関向けミドルウエア「MIDMOST」は勘定系と外部システムの中継に位置してセキュリティの脅威や異常トランザクションから勘定系を保護することで，外部環境側の過剰な多様性が内部に入り込むのを未然に防ぎシステムの安定性を確保している．

この段階では単に多様性を減らすだけでなく，ビジネス上許容すべき変動と抑制すべき変動を見極め，必要な多様性は残しつつ不要な多様性だけ遮断するというバランス設定が重要となる．

3）抽象化とモジュール化による柔軟なアーキテクチャ実現

（外部多様性の抑制　×　内部多様性の増幅）

信頼性・堅牢性の基盤を築いた上で，アシュビーの二戦略「外部多様性の抑制」と「内部多様性の増幅」を組み合わせたアプローチに移行する．

一つは抽象化によって外部環境の多様性をシンプルなインターフェースに封じ込める手法である．例えば複雑な異なる種類のシステム連携を統一 API や標準データ形式でカプセル化することで，内部システムが直接には外部の雑多な多様性に晒されないようにする．実際，オープン勘定系パッケージ「BankVision」では多様な金融商品の複雑なロジックを共通インターフェースとして抽象化し，新商品の追加やチャネル連携を容易にしている．

もう一つはモジュール化によって内部システムの多様性受容能力を増幅する手法である．システム機能を独立モジュールに分割し，用途に応じ組み替えられるようにすることで，多様な要求に柔軟に対応できるようにする．例えば地域金融機関向けサービス「OptBAE」では業務プロセスをコンポーネント化し，組み合わせによって様々な業務フローを自動化でき

るようにしている．このように抽象化（外部多様性の抑制）とモジュール化（内部多様性の増幅）を組み合わせることで，システムが外部環境の変化に柔軟に適応できるレジリエンスを高めることができる．

4）継続運用と自己改善（フィードバックループの活用）

システム稼働開始後も，継続的な運用監視と自己改善のプロセスを重視する．これはアシュビーの超安定性理論を実践するフェーズであり，運用データから得た知見をフィードバックして設定の調整や機能改善を続けることでシステムを進化させていく．具体的にはシステムのパフォーマンス低下やエラーの兆候，セキュリティの脅威等を検知した時に自動でリソース配分や設定を変更したり，開発チームにフィードバックして次期システムでの改良に反映したりする．例えば運用ログ分析によりボトルネックを特定してパフォーマンス最適化策を適用する，最新の攻撃手法に対抗して防御メカニズムを更新する，といった対応である．

このようにBIPROGYでは，「制御・最適化すべき複雑性とは何か」を見極めた上で，複雑性を抑制・吸収・活用する一連の構造を構築してきた．これらの実践は，次節で扱う「意味の抽出」「共創を通じた意味共有」や4.4節で述べる「社会デザイン」へとつながる創発プロセスの土台にもなる．

3.4　オープンイノベーション2.0におけるアシュビー理論の有効性と限界

アシュビーの「最小多様性の法則」や「超安定性」の概念は，もともと技術システムの制御理論として構築されたものであるが，オープンイノベーション2.0における基盤設計にも重要な示唆を与える．実際，本章で述べたように，BIPROGYが展開してきた多様なシステム構築・運用の実践には，アシュビー理論に通じる多様性の制御・最適化の考え方が反映されており，物理的・論理的なシステム相互作用の複雑性に対する有効なアプローチとなってきた．

しかし，この理論にはあらかじめいくつかの前提がある．最も重要なのは，「制御対象の状態空間があらかじめ定義されており，その中で制御システム側の対応力（多様性）を拡張していくことで環境変化に適応する」という構図である．すなわち，アシュビーはあくまで「何が起こるか」がある程度予測可能であるという前提のもと，非創発的なシステム（変数や構造がある程度固定されているシステム）を対象としていたと言える．

一方，現代の社会課題や環境変動は，予測困難かつ前例のない事象が次々に発生する「未知の状態空間」の中で進行している．新たな価値観や社会的パラダイムが次々と生まれ，従来の制度や前提条件そのものを変容させていく中では，「何が問題なのか」「何が価値となるのか」といった意味そのものが問われ直されるような局面が増えている．

こうした状況下では，「多様な事象に対応できるだけのバリエーションをシステム内部に用意する」だけでは十分ではない．むしろ，何が対応すべき外部多様性であるかを判断する視点＝センスメイキング（意味づけ，方向づけ）が不可欠となる．これはカール・ワイクらの組織理論においても議論されてきたが，複雑な情報をただ処理するのではなく，主体が「意味を与える」ことで，環境の中に自らの位置づけや行動の方向性を定めていくプロセスである[9]．外部の多様性に対するこのような解釈と再構成の働きを通じて，創発が可能となる．

すなわち，創発とは内部多様性を無制限に拡張していく営みではない．むしろ，センスメイ

キング（意味づけ，方向づけ）のプロセスを通じて，MIDMOST の事例での抽象化による外部多様性の封じ込めのように，関係者が「何が意味ある外部多様性なのか」を抽出・モデル化していくことで，環境の複雑性そのものが認知的に低減されるのである．その結果として，内部システムは，あらかじめ決められた状態空間内での制御ではなく，新たに定義された外部多様性に応じて，自らの多様性構造を柔軟に更新していく．

もっとも，このように社会課題や環境変動に関するような外部多様性を，センスメイキング（意味づけ，方向づけ）を通じて“筋良く”絞り込み，それに応じて内部多様性を効果的に再構成していくには，個別の主体が単独で対応することには限界がある．まさにこの点において，他者との相互作用＝共創の視点が不可欠となる．多様な立場や経験，アセットを持つ複数の主体が関与し，相互に意味を調整・翻訳しあうことで，初めて社会や組織として「意味ある外部多様性」が共有可能な形で構造化され，またそれに基づく内部多様性も実効性をもって設計され得る．

言い換えれば，アシュビーの多様性制御理論が示す「内部多様性の拡充」と「意味ある外部多様性の抽出」という両側面を基礎としつつ，そこにセンスメイキング（意味づけ，方向づけ）による動的な意味構築，さらにオープンイノベーションにおける他者との共創を重ね合わせることで，現代の動的かつ複雑性の高い環境に対する実効的な応答が可能になるのである．

このような統合的な視座こそが，企業が複雑な環境に適応し，創発的に価値を再構成していくための戦略的基盤となり，創発プロセス全体を支える社会装置としてのデジタルコモンズが果たすべき中核的な機能を定義するものでもある．

4.　ネットワーク拡大プロセスとしての共創的な創発の 5 段階モデル

本章では，野中・竹内の「知識創造の 5 フェーズモデル」を起点として，ネットワーク拡大プロセスとしての共創的な創発を 5 段階モデルで整理する．

4. 1　創発プロセスの進行に伴う複雑性の拡大と制御

3 章では，アシュビーの理論と BIPROGY の実践を通じて，システムにおける複雑性の制御・最適化のあり方を理論的・実践的に確認した．ただし，この枠組みはあくまでサイバネティクスの閉じた系における，状態変数の範囲と遷移規則が事前に分かっているような所与の状態空間における複雑性への応答である．

オープンイノベーションは本来，高度に複雑化する環境に対して，社会・組織・個人が多層的に応答するための枠組みと捉えることができる．こうした環境下では，単一組織の内部資源や視点のみで十分に対応することが困難となっており，異なる立場・知識・アセットを持つ複数の主体が連携し，新たな知を創出する「外部との創発的接続」としてのオープンイノベーションが求められている．

とりわけオープンイノベーション 2.0 は，その性質上，プレイヤーの多様性や価値観，目的の差異を前提とするため，それ自体が新たな「多様性の増幅装置」となりうる．適切な設計や支援がなければ，共有されない前提や相互不理解が蓄積し，「多様性が複雑性として作用し，共創が停滞する」というリスクが高まる．このことは，「オープンにすること」が直ちに「共創が進むこと」を意味しないという構造的な課題を示している．

また，全体としては複雑性が増大していく一方で，オープンイノベーションの各主体は，必

ずしも全く未知でコントロール不能の環境に飛び込むわけではない．むしろ，自身の持つ文脈で理解・解釈できる範囲において，意味的・構造的に接続可能な多様性を選択的に取り込みながら，ネットワークを形成していくという傾向がある．このように，主体の視点では複雑性がある程度制御可能となる一方で，より大きな視座から見れば，全体の複雑性はむしろ増大しやすいと考えられる．

オープンイノベーションを持続的に推進するには，外部との創発的接続を拡大しながらも，同時に各フェーズで生じる複雑性の増大に適切に対応しなければならない．

したがって，オープンイノベーション 2.0 の推進には，単なる資源や情報の共有を超えて，複雑性を円滑に制御しつつ，「創発」のプロセスを継続的に支える構造的な仕組みが不可欠である．そして，社会装置としての「デジタルコモンズ」は，まさにそうした役割を担おうとするものである．ただし，本稿では，このような複雑性が，共創的な創発プロセスの各フェーズにおいてどのように生じやすいかについては簡潔に触れるにとどめ，詳細な検討は次号に譲る．

4. 2　土台となる知識創造モデルおよび暗黙知の理解

本節では，共創的な創発プロセスを「個人の暗黙知として生まれた未知のネットワークが段階的な翻訳・共有を通じて拡大し，社会構造を組み替えるプロセス」として整理する．こうしたネットワークが拡大する度合いを，社会装置としてのデジタルコモンズの共通指標とすることが，2. 2 節のスマートウォッチの例で言えば，バラバラに存在していた機能を一つの装置として再編成するための指標である「エネルギーの補填と消費」の測定に相当すると捉えている．

創発の理論づけの土台は SECI モデルである[10]．マイケル・ポランニー（以降，ポランニー）の暗黙知を基礎にして，その形式知への展開モデルとして構築された SECI モデルは，「個人が持つ暗黙知がどのように他者と共有され，組織内に広がっていくか」を体系的に説明する．このモデルは，「S：共同化（暗黙知の共有）」「E：表出化（形式知への変換）」「C：連結化（形式知の体系化）」「I：内面化（再び暗黙知として取り込まれる）」という 4 段階のサイクルで知識の生成と循環を描いている．

そして創発プロセスを定義するために，野中・竹内の「知識創造の 5 フェーズモデル」を起点とする[10]．このモデルは SECI モデルで描かれた知識の生成や循環が，組織において時系列でみた時にどのようなフェーズを辿るかを，①暗黙知の共有，②コンセプトの創造，③コンセプトの正当化，④原型の構築，⑤知識の転移という知識創造の 5 フェーズモデルとして描いている．なお，デジタルコモンズで捉えるエコシステムはあくまで仮想的な組織に近しいものの，当然ながら企業内の組織とは異なる．このモデルの本質は，知が一方的に伝達されるのではなく，関係性の中で意味を得ていく構造にある．

初期 SECI モデルにおいては，暗黙知がしばしば日本的な職人文化――熟練した職人から観察・模倣・訓練を通じて身に付ける技能のようなものとして描かれてきたが，この理解ではポランニーの提起した本質を捉えきれない．

ポランニーは，人が何かを理解して新しい着想に至るとき，「焦点的感知（focal awareness）」と「従属的感知（subsidiary awareness）」という二つの働きがあると述べている．ポランニーによれば，焦点的感知とは，私たちが意識の中心に据えている対象であり．例えば，誰かの顔を見て「それが友人である」と認識する瞬間，焦点はその顔そのものにある．しかし，この認識を成立させているのは，目や鼻や口の位置関係，皮膚の色合い，表情の微妙な変化といった

多数の要素であり，私たちは普通，それら一つひとつを意識して注視してはいない．ポランニーはこれを「我々は従属的感知を通して焦点的感知を知る（We know the focal through the subsidiary）」と述べている．従属的感知は，その焦点を成り立たせている無数の手掛かり――過去の経験や知識，観察の断片，身体感覚や情緒的反応等であり，私たちは普段それらを直接意識せずに統合している．友人の顔という全体の意味は，顔のパーツという部分を暗黙的に統合して形成されているのであって，その統合過程を明示化ないしは言語化することはできないのである[11]

こうしたことを，ポランニーは「暗黙的に知ることの典型的な構造」であり，全ての知の基本的な構造でもあると言っており，暗黙知の働きが特に重要になる活動として，芸術家や科学者の創造過程を挙げている．彼らが新しい発見やひらめきを得るとき，豊富な経験や知識を意識的に並べて組み立てるのではなく，暗黙的な統合を通じて，脳内ネットワークや創造的な発想が形成され始めるのである．

このようにポランニー理論は，「新たな知がどのように個人の中で形づくられるか」という創発の出発点を記述している．本稿では，野中郁次郎が晩年において重視した「主観的身体性」や「本質直観」の視座[12]に注目し，SECI モデルをポランニーの暗黙知概念の本質に立ち戻って再解釈する．

すなわち，SECI モデルは，個人の内面に潜在していた主観的・直観的な知（脳内ネットワーク）が，他者との相互主観的なプロセスを経て，より広く共有される客観知（社会的ネットワーク）として変容していく過程を記述していると捉える．

4. 3　ネットワークの要素は人だけではない：主体を拡大するための ANT 理論の統合

次に，その成り立ちから組織でのナレッジマネジメントの理論として理解されやすい SECI モデルを，エコシステムや社会デザインを扱える理論として明確化するため，アクターネットワーク理論（ANT 理論）を援用する．

SECI モデルは，実際には狭義の知識創造だけではなく，プロダクトの構築等も対象とするものの，主に組織内部における知識変換と共有のイメージが強い．これに対して，ANT 理論は，明示的に人間だけでなく，技術，装置，マニュアル，インフラ，政策，資本，規格，法律，データベースといった非人間アクターをも含めた連携構築のダイナミクスを分析対象とすることを特徴とする．ANT 理論においては，社会とはあらかじめ存在する構造ではなく，こうしたアクター同士の翻訳・交渉・動員の連鎖を通じて絶えず生成されるネットワークであるとされる．

また，形式知化およびより広範で異質な主体（アクター）との連携に発展していく際に，重要になるのが，ANT 理論におけるミシェル・カロン（以降，カロン）の「翻訳」というプロセスである[13][14]．ここでいう「翻訳」とは，単なる言語的変換ではなく，異なる関心や立場を持つ他者にとって意味あるものへと再構成し，関係性同士の網の目（ネットワーク）を新たに編み直していく行為である．換言すれば，「それぞれのネットワークでの独自の意味を，他の別のネットワークでも通じる文脈に変換することで，接続を可能にすること」と言える．

このカロンの翻訳過程は SECI モデルおよびそのネットワーク拡大プロセスとしての理解と親和性が高いため，次節では SECI モデルの主体を ANT 理論で捉えている範囲まで拡大し，ネットワーク拡大による創発プロセスを理解するためのツールとして用いていく．

4.4　ネットワーク拡大プロセスとしての共創的な創発の5段階モデル

本節では，SECIモデルに，カロンの翻訳過程と，ネットワークの拡大を紐づけて検討した共創的な創発のプロセスを五つの段階に再整理し，Dropbox[*6]やAirbnb[*7]の事例とも照らし合わせながら理解していく．なお，事例はオープンイノベーションの代表例としてではなく，創発プロセスのフェーズ①〜⑤自体を分かりやすく説明するものとして，起業事例に基づくモデルを取り上げている．あくまでも創発プロセス理解のためのサンプルとして見られることを想定している．このようなオープンイノベーションとは一般的には捉えられない事例で，且つ商業的な価値にフォーカスしているとされる事例であっても，投資家やパートナー，顧客と社会的価値を共創するという側面は少なからず現れる．

この5段階モデルでは，個人の主観的・直観的な暗黙知として生まれたネットワークが，他者との相互作用を通じて形式知として共有・発展し，より広範な文脈――「チーム内」⇒「組織やエコシステム」⇒「社会」――へと接続して展開していくプロセス全体が，ネットワークの拡大として描かれる．

また，各段階において新たなアクターやコンテクストとの接続が進むことで，必然的に新たな複雑性が生じやすくなる点にも注意すべきである．これらの複雑性は放置すれば創発を阻害する要因となる．本節ではその中でも特に代表的と考えられるものを抽出し，フェーズごとに明示していく．

1）フェーズ①：暗黙知の共有（共同化）

個人は現場経験や身体感覚に基づく主観的・直観的な暗黙知を，脳内の意味ネットワークとして保持している．暗黙知はまず個人と環境との相互作用の中で芽生え，当人が観察や試行錯誤を重ねるうちに内部で輪郭を整え始めるため，他者との共有は必須ではない．もっとも，空間的・身体的・関係的に密なネットワークを共有する相手が存在する場合には，野中が初期に示した徒弟制のように「背中を見て覚える」共同体的暗黙知の共有が並行して起こり得る．カロンの問題化（Problematization）に関連し，アクター（個人）が，（他者を取り込む可能性を持つような）自身の問題意識を構成し，「この問題を解決するには私を通じて動くしかない」とする．脳内ネットワークの一部が”焦点”として活発化され，ネットワーク拡大プロセスの起点となる．この段階で複雑性を増幅しやすい要因は，例えば，個人における主観を扱う能力や元々の課題意識の不足，主観的な気づきを受け止める相手や共同体の不在だと想定され，放置すれば問題意識は蒸発しやすいと考えられる．

【事例】

Dropbox：

- 創業者であるドリュー・ヒューストンはバスでUSBメモリを忘れ，ファイルにアクセスできなくなった経験から「もっとシームレスなファイルアクセスができないか」という漠然とした不満・着想を持つ．
- この時点では，Dropboxのサービスである「クラウドストレージ」や「同期」という言葉はなく，漠然とした「どこからでもアクセスできればいいのに」という感覚的な気づきに留まっている．

Airbnb：

- サンフランシスコで開催されるデザイン会議の期間は宿が満室であり，それに気づい

た，当時家賃が払えない状況にあったブライアン・チェスキーとジョー・ゲビアが，自宅のリビングにエアマット三つを置き，朝食付きで貸し出すことにする．これは単なる数日間の小遣い稼ぎのつもりだった．

・しかし実際に 3 人の宿泊客を迎え，会話や交流を通じて，漠然と「この体験には思った以上の価値があるかもしれない」という感覚が芽生える．

2）フェーズ②：コンセプトの創造（表出化）

個人や小集団の内面にあった感覚・気づきは，SECI モデルの表出化において言語化・図解・物語化等の手段で形式知へ転換される．必ず他者を通じてしか転換されないというわけではないが，特に日本の職場では，関係性が近いチーム内で共有しながら内容を磨き上げていく傾向が強い．この過程はカロンの関心付け（Interessement）に当たり，主体が他のアクターをネットワークへ引き込む目的で文脈を調整し，共通の関心に向けた仕掛けを設ける段階である．脳内ネットワークの重要部分を，個人あるいはチーム内で明確にまとめることで，外部の他者とも接続する準備が整う．そのためには前提条件を洗い直し，客観的な文脈の中に位置づけることが重要になる．失敗すれば意味や意義が明確に伝わらず，誤解や非協力的な環境に繋がり，複雑性を増大させることになる．

【事例】

Dropbox：

・「どこからでも同じファイルにアクセスできる」仕組みをクラウド同期で実現する構想を明確化した．

・動作イメージをデモ動画で説明し，技術者や投資家に理解させる．

・暗黙的な「不便解消の感覚」が，具体的な技術構想＋UI イメージとして翻訳される．

Airbnb:

・創業メンバーと「ホテル不足の時に，空きスペースを持つ人と旅行者をつなぐ」価値が共通認識化した．

・新しい宿泊形態の発想を，直感的でイメージしやすい「AirBed & Breakfast」という名前と簡潔な説明に落とし込み，誰でも理解しやすい形にした．

・このネーミングと説明力が，初期の共感者・賛同者を得る大きなきっかけになった．

3）フェーズ③：コンセプトの正当化（内面化）

SECI モデルのこの段階では，新しく創られたコンセプトが知識や社会にとって本当に価値があるかどうかを検証する．データ，コスト，リスク，法規制等に加え，そのコンセプトが社会課題の解決や公共的価値の創出に資するかどうかといった複数の観点から腹落ち感を醸成し，社会的妥当性が確保できれば実装フェーズへのコミットが始まる．カロンの関係づけ・役割化（Enrollment）に相当し，各アクターが利害を再計算したうえで自らの役割を引き受けるかどうか決定する．ここで初期チームメンバー以外の人間や，更に設備，データセット，資金等の非人間アクターにも役割が割り当てられ，ネットワークが実装に向け再編成され始める．こうした“正当化”によりコンセプトが外部の文脈にも通じ，強い紐帯だけでなく弱い紐帯[*8]とも接続しやすくなり，格段にネットワーク拡大が容易になる．一方で正当化に必要なリソースが見つからない場合や，コンセプトが間違っていた場合にアジャイルにや

り直すスキル・土壌がない場合には複雑性が増大し，拡大が停滞すると想定される．

【事例】

Dropbox

・技術的に実現可能か，市場にニーズがあるかを検証した．

・実働デモを公開し，市場と投資家（Y Combinator）からの高い関心・需要・評価を得た．

Airbnb

・MVP（Minimum Viable Product）を通じて予約者に泊まってもらい，安全性・信頼性・満足度を確認した．

・「宿泊体験の満足度」と「ホスト収入」という価値が同時に立証される．

・同じくこのタイミングで Y Combinator に採択される．

4）フェーズ④：原型の構築（連結化）

SECI モデルの連結化では，検証を終えたコンセプトが実際の行動へ移り，プロトタイプや試行モデルといった具体的な形で機能を確認する段階に入る．部署横断・分野横断の共創体制が組まれ，開発・運用・法務・営業等，多様な知識が統合される．二つの事例でも見て取れるように実際にはフェーズ②〜③においても主にアイデアを「他者に伝える」目的での MVP が作られる場合が多いが，フェーズ④は価値が確認された後，実際の製品化や社会実装を前提とした形を目指すものである．カロンの視点では動員（Mobilization）として，関係づけられたアクター，つまり人材に加え，試作品，API，設計図，ガイドライン，制度書類といった非人間アクターが実際に翻訳者となり，実際にそれまでのフェーズよりも格段に多くのアクターが，共通の目的に向けて集合的な行為を取り，実装プロセスを実行する．弱い紐帯を介して他領域や他コミュニティが連結されることでネットワークの範囲は一気に拡大し，同時に中心部の密度も高まる．一方，インターフェースが一気に増えることで，利害調整・契約・技術仕様の整合や，ステークホルダーの期待・役割分担が噛み合わないといった事態が発生しやすいフェーズであり，複雑化しやすいと考えられ，そのまま進むと実装が滞るリスクが増大すると想定される．

【事例】

Dropbox

・デモ動画と初期ユーザーのフィードバックによって，市場価値が認められる．

・その結果，更なる投資家からの資金，熟練エンジニア，クラウド基盤提供企業等，より広いネットワークから資源が流入した．

・これにより，高速かつ信頼性の高い同期機能を持つプロトタイプが完成し価値を提供できる状態になる．

Airbnb

・初期利用者の成功事例（満室時の宿泊確保，ホストの副収入）がメディアで取り上げられ，社会的信頼性が高まる．

・これを受けて，エンジェル投資家，開発人材，写真家，地元イベント運営者等がプロジェクトに関わり始める．

・その結果，現在の実サービスに近いプラットフォームが成立した．

5）フェーズ⑤：知識の転移（連結化の帰結）

SECI モデルの最終段階では，正当化され原型を得た新しいコンセプトが製品やサービス，プロセス等に展開されることで組織やエコシステムへの定着が進む．これにより，他の形式知と結びつくだけではなく，更に個人が再び暗黙知を形成するサイクルを誘発する．

カロンの翻訳過程は Mobilization で定義が終わっているが，このフェーズ⑤は Mobilization の帰結として，関連アクター全体のネットワークが狙い通りに再構成された状態と捉えることができる．

ネットワーク拡大プロセスの観点では，創発の過程で強化されたネットワーク（関係性やプロダクト）が社会の一部として定着・機能するようになるとともに，更にいたるところで新しいネットワーク拡大プロセスの開始も誘発していく．

本フェーズでは更に広い社会とのインターフェース拡大が試みられるが，市場・法規・技術等との互換性不足が転移を阻害し，転移先で語彙や指標が変質し，元々の意味が失われていくことにより複雑性が増大されることも考えられる．いずれも社会において関係性やプロダクトが定着・機能することを妨げ，再創発の水脈も断たれる．

【事例】

Dropbox

- ユーザーによる外部共有リンクやチーム利用が想定以上に増え，B2B 市場に自然に広がる．
- 複数の業務領域で必須のツールとなる．
- 他ツールとの連携（Slack，Trello 等）が進み，新しい利用価値が生まれる．

Airbnb

- プラットフォームが都市間で利用が広がり始める．
- 宿泊予約から体験予約，長期滞在，自治体連携等へとサービス領域が拡大する．
- 地域活性化やイベント活用等，新たな創発が継続的に起きる．

この創発の 5 段階モデル（表 1）は，創発が個人の知覚から社会の構造に至るまでの階層的・循環的プロセスであることを理論的に明らかにするものである．つまり，個人の脳内ネットワークに点在していた暗黙的アイデアが，他者との翻訳・共有を通じてリンクを獲得し，段階的にネットワークを外部へ拡大していく動態として把握できる．強い紐帯の仲間内で初期リンクが形成されると，弱い紐帯を介して異分野・異組織へ接続が連鎖し，デジタルプラットフォーム上では試作品・API・データセットといった非人間アクターが翻訳者として加わる．これにより経営資源（人材，設備，資金，制度）が再配列され，アイデアは製品・制度・政策として社会システムに定着する．最終的に，拡張されたネットワークが社会の構造を組み替え，望ましい社会デザインを具現化する――共創的な創発とは，このように「個の認知」から「社会の再編」までを貫くネットワーク拡大プロセスそのものである．

また，1 章で述べたように，現在のオープンイノベーションの取り組みは大企業とベンチャー（あるいは大学，市民等）が半ば分業的である傾向があり，創発プロセスで言えばフェーズ①～③（探索・正当化）を主にベンチャーが進め，フェーズ④～⑤（実装・スケール）で大企業が参画して買収するといった形が多く見られる．しかし，こうしてオープンイノベーションにおける創発プロセスを①～⑤の地続きとして見ると，より早くから大企業はあらゆるアセット

表 1　共創的な創発の 5 段階モデル

SECI モデル	カロンの翻訳過程	ネットワーク拡大プロセス	想定される複雑性の要因
①暗黙知の共有（共同化）	Problematization（問題化）	個人の脳内ネットワークの一部が意識され始め，密なネットワーク内での個人と共有され始める．	暗黙的総合能力（暗黙的に知る能力）の不足と，暗黙知を共有する相手の不在による複雑性
②コンセプトの創出（表出化）	Interessement（関心づけ）	個人やチームの中で，その外部の他者にも繋げるための準備が進められる．	コンセプトの意味や異議が通じないことによる複雑性
③コンセプトの正当化（内面化）	Enrollment（関係づけ・役割化）	他のネットワークの他者が受け入れ，接続され始める．	リソース探索失敗や，間違ったコンセプトが固定化されることによる複雑性
④原型の構築（連結化）	Mobilization（動員）	更に人およびモノのネットワークが拡大し，中心の密度も高まる．	利害関係や役割が整理されないこと，一般的なガバナンスによる複雑性
⑤知識の転移（連結化の帰結）	（Mobilization の帰結→次の翻訳プロセスへ）	これまでのフェーズで作られたネットワークが主体となって更にネットワークを拡大するようになる．	互換性が足りないことや“社会的”ガバナンスの不足による複雑性

をベンチャー側に供給できるし，同時に大企業側も早い段階から「問い」と仮説形成に主体的に関与し得る，といったことが見えてくる．

この整理から各プロセスで求められるオープンイノベーションの要件と社会装置としてのデジタルコモンズの機能，BIPROGY が持つ技術力や製品との関係性等を，第二弾となる次号に，応用的考察として繋げていく．

5.　おわりに：「創発プロセスの整理からの社会装置としてのデジタルコモンズへの示唆」

本稿では，オープンイノベーションの取り組みが創発に至らないという限界を指摘し，その打開策の示唆を得るため，共創的な創発の創発プロセスの中核的な原理を，ANT 理論等も援用しながら，SECI モデルを土台にしてネットワークの拡大プロセスとして明らかにすることで整理した．

こうした創発プロセスを，偶発的な人間関係や一過性の共創イベントに委ねるのではなく，持続的かつ構造的に支援するためには，社会装置としての実装が不可欠である．この際，デジタルコモンズは，単なる情報共有インフラではなく，「何を問題とすべきか」を共に問い，個々人が有する知の多様性を起点に，それらをネットワーク上で動的に接続・翻訳し，協働可能性を拡張していく共創的な創発基盤として設計されるべきである．

本稿で整理した理論的枠組みに基づいて，共創的な創発のプロセスを支える機能を実装することが，社会装置としてのデジタルコモンズの構築を構想する土台になる．BIPROGY は，その中立的立場（フリクションフリー）[*9]，異業種にまたがる広範な顧客基盤，大規模なトランザクション処理能力，そして多くの実践（成功・失敗の両面）を通じて培われたオープンイノベーションの知見を活かし，この創発型のデジタルコモンズの構築に取り組むことで，社会課題の解決と持続可能な価値創造の実現に貢献することを目指している．

そして第二弾となる次号では，本稿で提示した共創的な創発のプロセスの構造を踏まえ，オープンイノベーション 2.0 の各段階における要件と提供し得る機能を考察し，BIPROGY がこれまで培ってきた実践知を活かしながら，どのように社会装置としてのデジタルコモンズの実装へと接続していくかについて，検討をより具体的に進めていく予定である．

具体的には，共創的な創発を本稿で示したような一連のプロセスとして捉え直すことで，オープンイノベーションを分業的に進めるのではなく，より早期の段階から必要な人や資源を結び付ける機能設計が可能となる．これは，社内外の事例において「カタリスト」や「コミュニケーター」，「ファシリテーター」等と呼ばれる人物が果たしてきた役割を，デジタル基盤上で再現・拡張することでもある．また，このプロセス全体を通じて，データは重要な媒介資源となる．BIPROGY の各種事例からもその役割を見ていく．

本稿が，共創的な創発に向けたデジタルコモンズ構築の理論的羅針盤として，読者の思考と実践の一助となることを願う．

＊ 1　困難な状況に直面した時に，迅速に回復して適応する「回復力」や「しなやかな強さ」のこと．
＊ 2　利用者が共有資源を乱獲することで資源の枯渇を招くこと．
＊ 3　Garmin 社が提供するスマートウォッチ．高い GPS 精度と抱負な運動計測機能を備えている．
＊ 4　SAMSUNG 社が提供するスマートウォッチ．高度なヘルスケア機能を持ち，ウォッチフェイスやバンドなどのカスタマイズが豊富．
＊ 5　BIPROGY がメインフレームで培ったミッションクリティカルなシステム構築のノウハウをオープン系プラットフォーム環境で実現し，他システムへの移植性（ポータビリティ）と柔軟性・拡張性を両立させたミドルウエア．
＊ 6　パソコンやスマートフォンを使って，インターネット経由でファイルの保存や共有が簡単に行える，クラウドストレージサービス．
＊ 7　空き部屋や空き家を提供するホストと，旅行者（ゲスト）をつなぐ民泊マッチングサービス．
＊ 8　ここでいう「強い紐帯」「弱い紐帯」とは，社会ネットワーク論におけるマーク・グラノヴェッター（1973）の概念を指す[15]．強い紐帯は家族・親友等，高頻度かつ情緒的に濃密な関係を意味し，弱い紐帯は知人や疎遠な関係を指す．弱い紐帯は異なる社会圏を橋渡しし，新たな情報や資源へのアクセスを可能にする点で，ネットワーク拡大やイノベーション創出において重要とされる．
＊ 9　BIPROGY グループは，マルチベンダーのため系列色がなく，事業提携に抵抗感を持たれにくい中立的で「フリクションフリー」な企業である点を強みの一つとしている．

参考文献
［1］ オープンイノベーション・ベンチャー創造協議会，「オープンイノベーション白書 第二版」，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構，2018 年 6 月，p.8
［2］ 宇沢弘文（編集），茂木愛一郎，「社会的共通資本：コモンズと都市」，東京大学出版会，1994 年 5 月，p.14-15
［3］ エリノア・オストロム（著），原田禎夫（訳），齋藤暖生（訳），嶋田大作（訳），「コモンズのガバナンス―人びとの協働と制度の進化」，晃洋書房，2022 年 12 月，p.106
［4］ 藤田哲雄，「デジタル時代のオープンイノベーションの展開と日本の課題」，JRI レビュー Vol.2，No.53，株式会社日本総合研究所，2018 年 1 月，p.3
［5］ European Commission, “Next Generation Internet initiative”, https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/next-generation-internet-initiative
［6］ デジタル庁，「データ戦略の推進」，2025 年 6 月，https://www.digital.go.jp/policies/data_strategy
［7］ ニクラス・ルーマン（著），佐藤勉（訳），「社会システム理論」，恒星社厚生閣，1993 年 1 月，p.63
［8］ W. R. アシュビー（著），篠崎武（訳），山崎英三（訳），銀林浩（訳），「サイバネティクス入門」，宇野出版，1967 年，p.250-270
［9］ Karl E. Weick, Kathleen M. Sutcliffe, David Obstfeld, “Organizing and the Process of Sensemaking”, Organization Science, 16(4), p.409

［10］ 野中郁次郎（著），竹内弘高（著），梅本勝博（訳），「知識創造企業（新装版）」，東洋経済新報社，2020 年 12 月，
［11］ マイケル・ポランニー（著），高橋勇夫（訳），「暗黙知の次元」，ちくま文庫，2003 年 12 月，p.18-22
［12］ 野中郁次郎，山口一郎，「直観の経営 「共感の哲学」で読み解く動態経営論」，KADOKAWA，2019 年 3 月，p.204-207，p.256-257
［13］ 栗原亘（著，編集），伊藤嘉高（著），森下翔（著），金信行（著），小川湧司（著），「アクターネットワーク理論入門―「モノ」であふれる世界の記述法」，ナカニシヤ出版，2022 年 6 月，p.74-76
［14］ Michel Callon, “Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fishermen of St. Brieuc Bay”, 1986, pp.196-233
［15］ Mark S. Granovetter, “The Strength of Weak Ties”, American Journal of Sociology, 1978 年 6 月 , 1360-1380

※ 上記参考文献に含まれる URL のリンク先は，2025 年 8 月 28 日時点での存在を確認.

執筆者紹介 アルムハメトヴァ メルエルト（Almukhametova Meruert）
2016 年日本ユニシス（株）入社．事業部で主に食品系顧客の DX 化支援等に取り組む．2018 年より経営企画部にて国内外企業の投資/アライアンス案件の企画・実行と共に，経営ビジョンの具現化に向けた社内外の様々なプロジェクトを主導・推進しながら，外部有識者との意見交換等も積極的に進めている．

企業アセット×共創で社会課題を解決する「kaleidosphere」

kaleidosphere: Co-creating Social Impact by Combining Corporate Assets

木 村 瑞 貴

要　約　BIPROGYでは，2022年度に企業のアセット活用による社会課題解決を目的とした取り組み企画を立ち上げた．その企画から生まれたのが，「kaleidosphere（カレイドスフィア）」と名付けたプログラムである．kaleidosphereは，企業が保有する多様な有形・無形のアセットを起点に，社会課題の解決と新たな事業創出を両立させることを目指す共創活動全体の枠組みであり，特定のアプリケーションやITツールを指すものではない．既存のアセットを組み合わせて新しい価値を生み出すことに特徴を持ち，段階的に構想化と検証を進める．

本稿では，このkaleidosphereのプログラムにおいて実践したアイディア創出の活動について，進行手法，得られた成果，そして今後の事業構想化へ向けての課題について整理して述べる．実践からは，アセットの可視化や少人数での対話，ファシリテーターの進行支援が，参加企業の具体的な構想形成に資する可能性が示唆された．一方で，アイディアを創出した後で，それらのアイディアから構想を練り，事業化にまでつなげるには，様々な課題が存在することが確認できた．また，アイディアの基となるアセットやアイディア自体の蓄積・活用の仕組みの検討も必要である．今回のkaleidosphereで実践したアイディア創出の活動を通じて得た知見や課題をもとに，各企業が持ち寄った有形・無形のアセットとともに，得られたアイディアをアセットとして蓄積し，参加者間で共有する仕組みの検討を進めていく．さらに，それらを事業創出へとつなげるプロセスの検討と試行を行っていく．

Abstract　In fiscal year 2022, BIPROGY launched “kaleidosphere,” a collaborative program designed to address societal challenges and create new businesses by leveraging diverse corporate assets. Rather than a specific application or IT tool, it is a co-creative framework which aims to both solve the social problems and create new business, and by combining existing tangible and intangible assets it generates new value through a step-by-step process of conceptualization and validation.

This study focuses on the ideation phase, outlining facilitation methodologies, observed outcomes, and challenges in advancing from idea generation to commercialization. Key findings indicate that asset visualization, small-group discussions, and facilitative guidance are effective in shaping concrete concepts. However, issues remain regarding the clarity of processes for concept development, the transition to implementation, and the systematic accumulation and reuse of assets and ideas. Based on these findings and challenge future work will develop mechanisms to manage and circulate these resources as shared assets, thereby enabling sustained business creation.

1. はじめに

デジタル技術の進展により，社会課題の構造はより複雑化かつ多様化しており，その解決にはこれまでにないアプローチが求められている．企業が有する多様な経営資源を社会のために

活用する動きが注目されており，特に，企業間で資源を持ち寄って連携する“共創”のあり方が模索されている．本稿では，企業が保有するこれらの経営資源を「アセット」と総称する．

ここでいう「アセット」とは，企業が保有する有形・無形の経営資源全般を指し，オフィスビルや製造設備，車両といった有形資産のほか，資本金や研究開発費などの金融資源，人的資源，ノウハウ，データ，知的財産，顧客基盤，ネットワークといった無形資産も含む．これらは会計上の資産に限定されるものではなく，社会課題の解決や新規事業創出に活用できる，広義の経営資源（resource）として捉えられる．

本稿では，BIPROGY 株式会社（以下，BIPROGY）が 2022 年度に企業のアセット活用による社会課題解決を目的に立ち上げた企画から生まれた「kaleidosphere（カレイドスフィアと読む）[*1]」（以下，kaleidosphere または本プログラムと呼ぶ）を事例として取り上げる．

本稿の目的は，kaleidosphere の概念や手法を明らかにし，実践した事例を通じてその成果や課題を紹介することである．特に，企業が保有するアセットを持ち寄り，他企業との対話や協働を通じて社会課題の解決を目指す共創型アプローチの意義と実践内容について述べる．

企業が社会課題の解決に取り組む意義については，経営戦略の第一人者でハーバード・ビジネス・スクール教授のマイケル E. ポーターと，社会インパクト戦略の第一線の研究者であるマーク R. クラマーが提唱した「共有価値の創造（Creating Shared Value, CSV）」の概念が示唆的である．彼らは「企業の競争力と社会の状況を同時に改善するような方策を見出すことにより，経済的価値と社会的価値の両方を創造することができる」と述べており，企業が社会課題を事業機会として捉えるべきであることを強調している[1]．また，国連が提唱する持続可能な開発目標（SDGs）においても，企業が環境・社会・経済の側面から持続可能性に貢献することが求められており，企業の社会的役割に対する期待は高まっている．

本稿では kaleidosphere を取り上げ，その背景，目的，概念および手法を紹介し，これまでに実践して得られた成果と課題を示す．まず 2 章で，社会課題の解決には企業が保有するアセットを掛け合わせることの重要性を述べた後，3 章で kaleidosphere の概要を紹介する．4 章ではこれまでに実施したアイディエーションフェーズでの具体的な活動について説明し，5 章では実践から得た成果と課題を示して，6 章で今後の展望を述べる．

2. 社会課題と企業の役割

本章では，kaleidosphere が生まれる背景として，社会課題を解決するために，企業のアセットを外部との協働で活用することの重要性を述べる．

2.1 現代社会における複雑な社会課題

現代社会においては，環境問題，貧困，不平等，健康問題などの社会課題が複雑化しており，それらは相互に関連しながら深刻化している．このような課題は，行政や一部の市民活動のみで解決するには限界があり，企業の積極的な関与が強く求められている．企業が持つ技術，データ，人的資源，ネットワークといったアセットを活用することで，これまでにない新たな解決アプローチを提示できる可能性があるためである．

企業単独での取り組みでは，アセットの種類や量に限界があるため，課題の構造的な解消や持続可能な価値創出といった，より広範で長期的な変化をもたらす社会的インパクトを最大化するには不十分である．一方，複数の企業が連携して各社のアセットを補完的に組み合わせる

ことや，偶発的に生まれたアセット同士の掛け合わせは，より大きなスケールでの課題解決を可能にする．たとえば，ある企業が技術やノウハウを提供し，別の企業が流通チャネルや顧客基盤を提供することで，単独では実現困難だった製品・サービスの社会実装や地域課題の解決策を構築することができる．実際に，産学連携や異業種連携において，このような共創によって成果をあげている事例も現れており，こうした企業間連携は，社会課題解決における現実的かつ有効なアプローチとして注目されている[*2]．

このように，単独では限界のある企業のアセットを，産学連携や異業種連携などを通じて掛け合わせることで，より大きな社会的価値を創出することができる．こうした取り組みは，CSV の観点からも，社会的意義と経済合理性を両立させる戦略的行動として位置づけられる．

2.2　企業のアセットとその重要性

このように社会課題に対して，企業が自社内で完結する形でアセットを活用するのではなく，社外との連携を前提にアセットを「解放」する動きが注目されている．

ここでいう「解放」とは，単なる外部への開示や共有にとどまらず，従来は自社の競争優位の源泉として囲い込まれてきた経営資源を，他企業やスタートアップなどと連携して活用するために，経営資源の活用を他社に許諾するなど，外部に開くことを意味する．

たとえば，内閣府が提唱した未来社会構想「Society 5.0」では，テクノロジーとデータを活用し，経済成長と社会課題の解決を両立する人間中心の社会の実現が掲げられている[2]．この構想を推進するにあたり，一般社団法人 日本経済団体連合会（経団連）は「企業アセットの解放[*3]と共有によるベンチャー・エコシステムの進化」が重要であると提唱している[3]．

この背景には，社会課題が広範かつ複雑化しており，単一の組織や業種では十分に対応しきれない現状がある．そのため，企業が蓄積してきたアセットは，単なる私的資源にとどまらず，社会課題の解決に資する「共有財」の側面として注目されつつある．こうしたアセットの社外連携による活用は，環境保全，地域活性化，教育支援といった公益的な成果（社会的リターン）を生み出すとともに，新たな事業機会の創出やブランド価値の向上など企業にとっての成果（経済的リターン）にもつながる可能性がある．このように，社会的な要請の高まりとともに，企業アセットの「解放」と他主体との協働を通じた価値創出への期待も，徐々に広がりを見せている．

こうした状況を踏まえると，企業アセットの「解放」，すなわち企業が内部で保持してきた有形・無形のアセットの外部への使用を許諾することと，外部との協働，すなわち外部とともに他のアセットとの新たな組み合わせを模索することは，新たな発見につながり，より大きな社会課題の解決にも結びついていくことが期待される．これは，企業自身の持続的成長を支える取り組みにもなり得る．

実際に，経団連は 2019 年の提言において，Society 5.0 の実現に向け，企業アセットの「解放と共有」によるベンチャー・エコシステムの進化を重要な要素として掲げており，経済界としても政府の方針と歩調を合わせるかたちで，アセット活用による社会課題解決に取り組む意義が強調されている[*4]．

3.　kaleidosphere の概要

2 章で述べた背景を踏まえて，BIPROGY は 2022 年度に，企業間連携による社会課題解決を

推進するためのプログラム，kaleidosphereを立ち上げた．BIPROGYは従来から顧客企業やパートナー企業と共創関係を構築してきた実績を有しており，このネットワークを活用することで，個社では対応が難しい課題に対して新たな価値創出の機会を提供することを目指している．

3. 1　kaleidosphere の目的

kaleidosphereは，企業が保有するアセットを持ち寄り，それらを組み合わせることで社会課題の解決と新規事業の創出を両立させることを目的としている．なお，kaleidosphereは特定のアプリケーションやITツールを指すものではなく，企業が参画し，実際に集まって課題を提示し，アセットの棚卸し・共有・組み合わせから，アイディア創出，仮説検証というプロセスを段階的に実践する，共創活動全体の枠組みである．

kaleidosphereが目指す方向性は，次の三点に集約される．

1）社会課題に対する具体的な解決策を，企業のアセットを用いて構想すること
2）企業間でのアセットの再活用と組み合わせによって，新たな事業機会を生み出すこと
3）経済的リターンと社会的意義の両立を目指し，企業が継続的に協力して事業を構想・実行できる仕組みをつくること

3. 2　kaleidosphere の特徴と他手法との差異

kaleidosphereは，「既存のアセットを起点に新たな価値を生み出す」という点に特徴がある．従来の「ゼロから価値を生み出す（0→1）」型アプローチとは異なり，既に存在するアセットを組み合わせ，新しい価値を構想・実現する「0.5→1」のアプローチを採っている．起業家・投資家であり，スタートアップ思想の提唱者として知られるピーター・ティールは，新たな価値を生み出すプロセスを「0→1」と定義し，既存の改善・拡張「1→n」とは区別している[4]．この考え方を応用したkaleidosphereは，既存の企業アセットを最大限に活用して事業創出を目指す仕組みである．

他手法の特徴として，アイディアソン[*5]は短期間で独創的なアイディアの発想競争を主目的とし，アクセラレーター・プログラム[*6]はスタートアップを対象に資金提供やノウハウ支援を行う形が多い．一方でkaleidosphereは，企業同士が持つ既存アセットを持ち寄り，現実の社会課題解決を目的に，段階的に検討・検証を進めながら事業化を目指すプロセスを提供することを目指している．

kaleidosphereのアイディア創出活動は主にワークショップ形式で進行し，BIPROGYがプログラムの設計・ファシリテーションを担い，企業間の相互理解や協働を促進している点も特徴的である．

3. 3　参加のかたちと進め方

kaleidosphereでは，参加企業が自社のアセットを持ち寄り，社会課題への具体的な解決策を協働で構想するだけでなく，その実現に向けて参加企業が主体的に関与することを企図している．参加企業には，ワークショップへの単なる「参加者」ではなく，社会的価値と経済的価値の両立を追求する「共創の当事者」としての役割を果たすことが求められる．

また，参加企業の関わり方は柔軟であり，課題提示や事業推進など，各社の状況や強みに応じて多様な関与が考えられる．いずれの形態においても，参加企業は自社の有形・無形アセッ

トを活かして参画することとなり，既存事業の強化のみならず，新たな事業領域への展開やブランド価値の向上といった戦略的効果も期待できる．

4. kaleidosphere の事業創出プロセス

kaleidosphere は，企業が保有する多様なアセットを起点として，社会課題の解決と新たな事業創出を目指す取り組みである．本章では，この取り組み全体を構成する三つのフェーズである，アイディエーションフェーズ，事業企画フェーズ，事業開発フェーズの枠組みを概説する．なお，2025 年度時点ではアイディエーションフェーズのみ実施しており，後続の事業企画フェーズおよび事業開発フェーズは構想段階である．本章では，これまでの実践における知見を基に，アイディエーションフェーズの実施内容を具体的に示し，事業企画フェーズ，事業開発フェーズの構想とイメージのポイントを述べる．

4.1　構想している各フェーズの概要と定義

kaleidosphere では，社会課題の解決と新たな事業創出に向けて，以下の三つのフェーズを想定している（図 1）．

1）アイディエーションフェーズ（0.5 → 1）

企業が保有する既存アセットを起点に，他社のアセットと組み合わせることで新たな価値の可能性を見出す段階である．

ここでは，参加者間で共有する社会課題をテーマとして議論を進め，そのテーマをきっかけに発想を広げる．この暫定的なテーマを通じ，参加企業は自社アセットの潜在的な価値に気づき，他社アセットとの新たな組み合わせを探索することができる．

2）事業企画フェーズ（1 → 5）

アイディエーションで得られた発想をそのまま事業企画に直結させるのではなく，設定された社会課題テーマを深掘りし，既存アセットの新たな価値を解決手段として位置づけ直し，事業仮説を具体化する段階である．

この過程では，顧客価値や収益構造などを整理するためのビジネスモデルキャンバスや，迅速な仮説検証を行うためのリーンスタートアップの考え方を参考に，想定する顧客や社会課題との整合性を検討する．本フェーズの狙いは，社会課題テーマに即した課題の把握と，既存アセットを基盤とした解決策の構想化にあり，構想の具体化と検証の準備を進めることにある．

3）事業開発フェーズ（5 → 10）

PoC（Proof of Concept，概念実証）[*7] や MVP（Minimum Viable Product，最小限の実用的な製品）[*8] といった初期検証のプロセスを通じて，構想した事業の社会実装・展開を図る段階である．

これらのフェーズは既存理論に基づきつつも，企業アセットを起点とした実践的な活動設計を特徴としている．

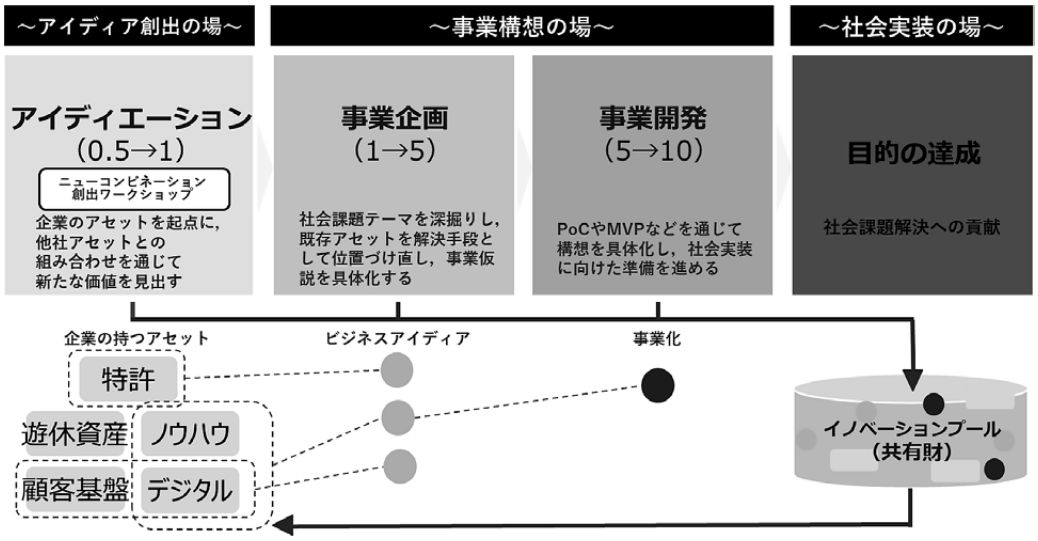

図 1　kaleidosphere における事業創出プロセス（アイディア創出の場～社会実装の場）

4. 2　アイディエーションフェーズ（ニューコンビネーション創出ワークショップ）

アイディエーションフェーズでは，「ニューコンビネーション創出ワークショップ」と称する対話型のプログラムを実施する．本ワークショップでは，複数企業が一堂に会して，それぞれのアセット（技術，データ，人材，ネットワークなど）を相互に提示・共有しながら，それらを組み合わせて新たな価値創出を試みる．これは，本ワークショップが，企業間のアセット同士を組み合わせて構想する「新結合（ニューコンビネーション）[*9]」の概念に基づいて設計されているためである．「新結合」とは，経済学者 J.A. シュンペーターがイノベーションの本質として提唱した概念であり，既存の要素の新たな組み合わせによって革新的な価値を生み出すプロセスを指す．本ワークショップでは以下の三つの要素を重視している．

4. 2. 1　ワークショップの進行とアイディエーション手法

ニューコンビネーション創出ワークショップは，付箋や模造紙を用いた対面でのブレインストーミングを中心に進行する．ブレインストーミングは，短時間に自由な発想を多数出し合い，多様な視点を引き出すことを目的としたアイディエーション手法のひとつである[5]．

参加者は 4～5 名程度の少人数グループに分かれ，対話が活性化しやすい環境を整えている．各グループには，kaleidosphere の運営メンバーがファシリテーターとして 1 名ずつ配置され，ワークショップの進行役を務める．ファシリテーターは，発言しやすい雰囲気の醸成や議論の進行を支援し，参加者に発言を促したり，論点を整理したりすることで対話を深める．

kaleidosphere におけるファシリテーターには，BIPROGY のグループ会社であるケンブリッジ・テクノロジー・パートナーズのファシリテーション手法に基づいたトレーニングを実施している．オープンクエスチョン[*10] による対話の促進，論点の可視化と整理，合意形成への導きといった技術を重視し，質の高い議論とアイディアの創出を支えている．

進行の中では，ワールドカフェ形式やブレインライティングなどの手法も取り入れている．ワールドカフェ形式とは，参加者が小グループに分かれて特定のテーマについて対話を行い，

一定時間ごとにグループを移動することで知識や視点の循環を促す方法である[6]．ブレインライティングは，各自がアイディアを紙に書き出し，それを共有・追記することで他者の発想をきっかけに新たなアイディアを引き出す手法であり，対話に苦手意識を持つ参加者にとっても思考を可視化しやすいという利点がある[7]．

このような多様な手法と支援体制により，参加者同士の相互理解を深めるとともに，異業種間の知見の融合を促進している．企業の実際のアセットに基づいて検討を進めることで，具体的かつ現実的な議論につながりやすいという効果がある．テーマ設定により検討の方向性が明確になり，少人数での対話とファシリテーターの支援によって議論の深掘りもできる．

こうした環境により，単なるアイディア出しにとどまらず，実現可能性も視野に入れた構想へと発展していく可能性が高まることを狙っている．

4. 2. 2　テーマ設定

参加者の議論が過度に発散することを防ぎ，かつ具体的な方向性を導き出すために，本ワークショップでは毎回，参加者間で共有できる社会課題を「テーマ」として設定している．具体的には，SDGs で掲げられている目標の中から，水資源の課題や食料問題など，社会性と実現性を兼ね備えた課題を選定している．

さらに，そのテーマをより身近に感じてもらい，参加者がイメージを膨らませやすくするための工夫として，短いフレーズで構成された「キャッチコピー」も併せて設定している．これは，テーマの意図や狙いを直感的に伝え，アイディア創出を促進するためのものであり，事前に参加者に共有される．

キャッチコピーの設定では，以下の観点を重視している．

1）議論の収束性を高めるため，広すぎる内容は避け，ある程度具体的な方向性が定まる問いや呼びかけを用いる．

2）参加者が共通のイメージを持ちやすく，かつ社会課題への接続を意識した内容になるように工夫する．

なお，これまでに設定したテーマおよびキャッチコピーの例を表 1 に示す．表中の「SDGs No.」は，各テーマが関連する SDGs の目標番号を示しており，参加者が議論の社会的背景や意義を把握するための参考情報として活用している．

表 1　ニューコンビネーション創出ワークショップにおけるテーマ例

テーマ	キャッチコピー	SDGs No.
食	おいしい余りモノが主役になれるシンデレラストーリーを創ろう	2, 12
気候変動	気候変動がもたらす水不足・食糧不足に対応する方法とは？	6, 13
地方創生	地方に住みたくても住めない労働者が都市部と同じライフスタイルの維持をできるような仕組みをつくろう	8, 11
地方創生・子育て	地方だからこそできる子育てに役立つサービスや街の仕組みを考えよう	3, 4, 11
健康・スポーツ	無意識に『健幸』を！参加すると元気になれるWell-beingコミュニティを考えよう	3, 11, 17

4. 2. 3　非日常空間の演出

参加者の思考を柔軟にし，従来の枠組みを超えた発想を引き出すため，ワークショップの開催場所にも工夫を凝らしている．デザイン性の高い施設や非日常感を演出できる空間を選定しており，これまでの実践例としては，2023年3月に開催したkaleidosphere初のトライアルワークショップで，長野市善光寺の境内の施設である紫雲閣を活用したことがある（図2）．

普段のオフィス環境とは異なる場で思考することで，参加者の視点の転換を促し，既存の延長線上ではない新たな着想の誘発を図っている．

図2　非日常空間を演出，写真は2023年3月，長野市善光寺紫雲閣内でのワークショップの様子

5.　ニューコンビネーション創出ワークショップで得られた成果と課題

本章では，これまでのワークショップの実践を通じて得られた成果と，明らかになった課題の双方を整理する．

5. 1　これまでの実践による成果

2023年3月から2025年7月までに，計7回の「ニューコンビネーション創出ワークショップ」を実施し，延べ100名以上が参加した．参加者はBIPROGYグループの既存ネットワークから構成されており，食品，物流，大学，IT，医薬品など多様な分野の企業が含まれる．ワークショップにおける成果物の一例を図3に示す．

kaleidosphereの実践を通じて，企業間でアセットを共有し，新たな価値を構想するというプロセスが，これまでにない視点や気づきを生み出すことを確認できた．ワークショップでは，各企業が保有するデータ，技術，人材，施設などのアセットを棚卸しし，参加者同士で共有し，対話を通して検討することで，これまでとは違う見方からの活用法による新たな組み合わせの可能性が検討された．

この過程で，参加企業間の相互理解が進み，参加者にとって，新たな視点による捉え方の発見や，意外な組み合わせによる刺激が得られた．その結果として，社会課題とビジネスの接点に関する視野が広がったとする参加者の声も寄せられており，構想されたアイディアには現実

的な事業性が感じられるものも見られた．また，ファシリテーターの支援により，議論の活性化と構想の具体化が図られ，単なるアイディアの発散にとどまらない仮説形成が行われた事例も見られた．

これらの点から，アセットの組み合わせによる事業創出へ向けて，参加者が他者との協働の重要性を実感し，自身の成長の手ごたえを得られたことが窺える．

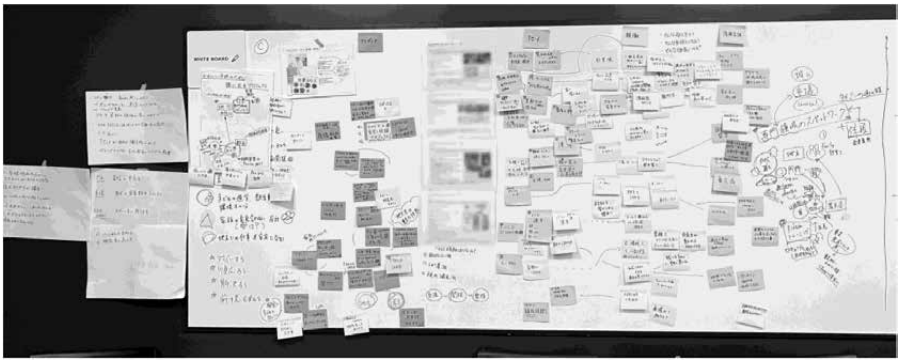

図 3　ワークショップでの成果物の一例

5. 2　課題：事業化への移行の困難さ

kaleidosphere のアイディエーションフェーズにおいて，参加企業による対話を通じて多様なアイディアが創出され，事業化の可能性を含む構想もいくつか提案された．しかし，現時点ではその後の実行フェーズへ移行した事例はなく，構想段階から事業化への移行に困難さが存在することが明らかとなった．

この背景には，いくつかの要因が複合的に関与していると考えられる．まず，複数企業による共創という特性上，意思決定のプロセスが複雑になりやすいという構造的課題がある．特に，企業ごとに評価基準や事業化へのコミットメントの関心や優先度が異なるため，「誰がどの段階で主導権を取るか」が曖昧なままとなり，構想の具体化に必要な企業間への座組みに関する議論が停滞する傾向が見られた．

また，構想段階で検討されたビジネスモデルが自社の収益構造や戦略と整合しないと，参加企業が判断した場合，事業化に向けたリソース投入が見送られる例もあった．これは，社会課題の解決を主眼に置く構想と，自社事業としての持続性・収益性のバランスをどのようにとるかという判断が企業内で難しかったことを示唆している．さらに，一部の参加企業からは，構想の社会的意義に共感しつつも，社内での説得材料に乏しく，実行に移せなかったという声も挙がった．

このような実態は，ワークショップが提供する価値と，参加企業が本プログラムに期待する役割との間に，意識のずれが存在する可能性を示している．実際には，新規事業のアイディア創出や人材育成，ネットワーク形成などを目的とする企業も多く，事業化に向けた継続的な取り組みまでを視野に入れていない場合もある．こうした認識の違いが，ワークショップとその後の社会実装プロセスとの間に段差（ギャップ）を生じさせていると考えられる．

6. 今後の kaleidosphere の展望

kaleidosphere の現状や課題を踏まえて，今後の展望を述べる．

6.1 アイディエーションフェーズの確立と事業企画フェーズ以降の検討

kaleidosphere ではこれまで，主にアイディエーションフェーズにおいて，参加企業が持つアセットを起点とした新たな構想の創出に注力してきた．このフェーズは一定の成果と評価を得ており，今後も継続的な実践を通じて，課題設定手法やアセットの可視化方法，対話設計のナレッジを蓄積していくことが期待される．

一方で，創出された構想を，本プログラムの枠組みの中でどのようにして次のステップへとつなげていくかという点は，引き続き検討が必要である．今後は，構想段階から実装フェーズへの移行を支援する枠組みとして，フェーズごとの評価基準の明確化や伴走支援体制の整備，社内外ステークホルダーとの連携手法など，事業化に向けた道筋を体系化していくことが求められる．

なお，現状では，アイディア創出活動への参加者に対して，参加料の支払いは求めていない．本プログラムをどのように維持し発展させていくかは 2025 年度時点で検討中であり，本プログラムから生まれる新たな事業により経済価値を獲得することなどを検討している．

6.2 事業創出の仕組み強化

新たな事業の構想を単発で終わらせず，継続的な取り組みへと発展させるためには，知の蓄積と，再利用できるような仕組みづくりが不可欠である．そのために kaleidosphere では，「イノベーションプール[*11]」としての機能を今後強化していく構想を有している．ここでいうイノベーションプールとは，参加企業の保有アセット，これまでの構想アイディア，実践の過程で得られた気づき・ナレッジを中長期的に蓄積・共有する知的基盤を指す．この蓄積により，過去の知見を再参照・再構築することで，新たなアイディア創出を促し，継続的な価値創出の循環を実現することを目指している．

ただし，こうした共有の仕組みを構築するにあたっては，複数の企業が関与することによる共有財の取り扱いに関する課題も顕在化している．2025 年度時点では，アセット情報や構想アイディアの活用に関して，参加者への利用規定や枠組みを明確に示しておらず，二次活用の範囲などは事前確認を行わなければならない．今後，イノベーションプールを持続的に運用していくためには，参加企業間でのルール設計，共有財管理の合意形成，活用ガイドラインの整備など，制度面・運営面の仕組みづくりが不可欠である．

このような仕組みを備えることで，kaleidosphere には，単なる一過性のワークショップにとどまらず，企業間での共創による新規事業創出を持続的に支える，知識のプラットフォームとしての役割を果たしていくことが期待される．

7. お わ り に

本稿では，企業の保有アセットを活用し，複数企業が共創的に社会課題の解決と新規事業創出を目指すプログラム kaleidosphere の概念・手法・実践について整理し，アイディエーションフェーズでのワークショップの実践の結果を中心に述べてきた．

実践から得られた主な知見としては，参加企業が実際のアセットを持ち寄り，対話を重ねな

がらアイディアを構想するプロセスが，現実に根ざした構想を生み出す土壌となり得るという可能性である．特に，アセットの可視化や，少人数による対話を重視した進行設計，ファシリテーターによる支援といった要素が，参加者の主体的な関与を促し，より深い議論の形成につながっていたことは注目に値する．本プログラムでは，今後も継続的な実践と検証を通じて，より実効性の高いビジネスコンセプトの創出を目指していく．

一方で，アイディアから事業化に進む段階での壁は依然として大きく，構想をいかに実行フェーズへとつなげるかが今後の重要な課題である．この課題への対応として，アイディエーションフェーズの設計精度を高めつつ，事業企画フェーズにつなげ，さらに事業開発フェーズへと円滑に接続するための仕組みの整備が求められる．

kaleidosphere の取り組みはまだ始まったばかりであり，今後も継続的な実践と改善を重ねることで，共創による新たな社会価値創出の場としての成熟を目指す．

本稿執筆に協力いただいた皆様に感謝し，引き続き，社会課題解決のためのアイディア創出や，新たな事業構想の活動を通して，企業間連携を支えていく．

＊1 「kaleidosphere」は 2024 年 3 月に商標登録されている．

＊2 たとえば，花王株式会社と東京都墨田区の環境啓発施設の共同運営や，日立製作所の「Lumada Innovation Hub」における地域課題対応型の共創事例がある．また，SDGs の文脈においても，経済産業省『SDGs 経営ガイド』などが企業連携による社会的価値創出の必要性を示している．

＊3 「企業アセットの解放」とは，企業が有する資源を自社内に囲い込むのではなく，ベンチャー企業などの外部との連携によって新たな価値創出に活用していく姿勢を指す．

＊4 たとえば，内閣府による「第 5 期科学技術基本計画」では「Society 5.0」の実現に向け，官民が連携して社会課題の解決に取り組むことの重要性が示されている．また，日本経済団体連合会は，企業アセットの「解放と共有」を通じたベンチャー・エコシステムの進化が，持続可能な社会に向けた鍵であると提言している．

＊5 アイディアソンは，限られた時間内に参加者が自由にアイディアを出し合い，その独創性や実現可能性を競うイベント．

＊6 アクセラレーター・プログラムとは，短期間で事業成長を促すために，メンタリング・資金・ネットワークなどを提供する，選抜型のスタートアップ支援制度．

＊7 PoC は，あるアイディアや技術が実際に機能するかどうかを確認するために行う初期的な実験やテストのこと．理論的な仮説を実際の状況で試してみることで，アイディアや技術が現実に適用可能かどうかを確かめることを目的としている．

＊8 MVP は，新しい製品やサービスの開発プロセスにおいて，顧客が実際に使用できる最小限の機能を備えた製品を早期に市場に投入し，実際のユーザーからフィードバックを得ることを目的としている．

＊9 「新結合（New Combination）」は，J.A. シュンペーターが 1911 年に著した『経済発展の理論』にて提唱した概念であり，イノベーションの原型として知られる．

＊10 オープンクエスチョンとは，参加者に自由な発想や意見を促すための「はい・いいえ」で答えられない形式の問いかけである．kaleidosphere では，アイディエーションの初期段階で，思考を広げる起点としてこの問いの形式を意識的に用いることで，新しい視点や発想の糸口を得ることを狙っている．

＊11 kaleidosphere では，「イノベーションプール」と名付けた共有財を構築・活用することで，参加企業間でアイディアやアセットの再利用を促進し，より効率的かつ継続的な事業創出と協力を実現する．この共有財は，過去の活動で得られた知見やアセットを蓄積・循環させる仕組みであり，参加企業のリソース活用の最大化と持続的な成長を支援することが期待されている．

参考文献　［1］ マイケル E. ポーター，マーク R. クラマー，「共通価値の戦略（Creating Shared Value）」『DIAMOND ハーバード・ビジネス・レビュー』2011 年 6 月号，ダイヤモンド社，p8–p33.

［2］ 内閣府，第 5 期科学技術基本計画，p50，2016 年 1 月 22 日，https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf

［3］ 一般社団法人　日本経済団体連合会，Society 5.0 実現に向けたベンチャー・エコシステムの進化，p5，2019 年 2 月 19 日，
https://www.keidanren.or.jp/policy/2019/012_honbun.pdf
［4］ ピーター・ティール，ブレイク・マスターズ，ゼロ・トゥ・ワン：君はゼロから何を生み出せるか，NHK 出版，2014 年 9 月 25 日
［5］ アレックス・F. オスボーン，豊田 晃（訳），創造力を生かす～アイディアを得る 38 の方法，創元社，2008 年 1 月 1 日
［6］ アニータ・ブラウン，デイビッド・アイザックス，香取 一昭・川口 大輔（訳），ワールド・カフェ～カフェ的会話が未来を創る，ヒューマンバリュー，2007 年 9 月 28 日
［7］ 高橋誠，ブレインライティング―短時間で大量のアイデアを叩き出す「沈黙の発想会議」，東洋経済新報社，2007 年 10 月 26 日

※　上記参考文献に含まれる URL のリンク先は，2025 年 6 月 30 日時点での存在を確認.

執筆者紹介　木　村　瑞　貴（Mizuki Kimura）
2012 年日本ユニシス(株)入社．金融部門でのシステム開発担当を経て，2022 年よりマーケティング組織に異動．スタートアップを中心とした事業連携に取り組み，同年より kaleidosphere 企画立ち上げに従事.

相互信頼をかたちづくり学びと協働・共創が起こる場の枠組み

A Space That Shapes Mutual Trust and Where Learning, Collaboration, and Co-creation Take Place

山 田 茂 雄

要 約 本稿は，デジタル時代におけるコモニング（共有資源の管理と活用）を通じて社会の課題を達成する枠組みを仮説として提案する．コミュニティは地理的制約を超えた共感と認知的信頼（相手の能力や知識・実績に対する合理的評価から生まれる信頼関係）に基づく自己組織化によって形成され，三段階のフェーズ（共創ネットワーク，目的指向コミュニティ，共同プロジェクト）を経て課題の達成へと進む．特に知識創造の実践としてのコモニングが重要であり，出会い・共有・学び・共創・規制の五つの集団的実践を通じて知識コモンズを創出し，維持する．また，生体知能と人工知能の協調により創発するコミュニティの集団的知性は，複雑な問題への対処能力と行動の俊敏性を高める．社会の問題の解消や課題の達成に挑むとき，この，仮説として示したコミュニティを単位とする〈相互信頼をかたちづくり学びと協働・共創が起こる場の枠組み〉はその唯一のやり方でもなければ，成功を約束する特効薬でもない．だが，ボリエが説くように，人が集い，同じ経験を共有し，実践的な知識を蓄積するなかで有機的に形成されるコモンズは，意思決定権限の分散，自己組織化，実践ベースという三つのアプローチで集合的に社会を作り変えることができる．

Abstract This paper proposes a hypothetical framework for addressing social challenges through “commoning” —the collective management and utilization of shared resources— in the digital age. Communities are formed through self-organization based on empathy and cognitive trust that transcend geographical constraints, progressing through three phases —innovation networks, purpose-oriented communities, and collaborative projects— toward the achievement of their goals. Particularly important is commoning as a practice of knowledge creation, which generates and sustains knowledge commons through five collective practices: meeting, sharing, learning, co-creating, and regulating. Furthermore, the collective intelligence of communities, emergent from the collaboration between biological intelligence and artificial intelligence, enhances their ability to address complex problems and their agility in action. When tackling social problems or achieving challenges, the framework presented here as a hypothesis — a community-based unit characterized by mutual trust, where learning, collaboration, and co-creation occur — is neither the only method nor a guaranteed remedy for success. However, as Bollier argues, the commons, which are organically formed as people gather, share common experiences, and accumulate practical knowledge, can collectively transform society through three approaches: decentralization of decision-making authority, self-organization, and practice-based.

1. はじめに

私たちは単に社会に属しているのではなく，お互いや環境との関わりを通じて社会をかたちづくり，変革している．同時に，その社会の仕組みは構造的に問題を生みだしている．例を挙

げれば，少子高齢化や地域消滅，意図しない誤情報の拡散や悪意のある偽情報の流布がもたらす分断や偏向の加速，さらには人類が直面する食料問題や廃プラスチック問題，気候変動問題をはじめとする地球規模の問題などがある．社会の仕組みの上で行動する個々人が日常の中であたりまえのことと思ってやってきた結果が，問題や課題となっている．それらの問題を解消し，また社会の課題を達成することは個のちからだけでは成し得ない．その鍵は，問題や課題の背景にあるめいめいのニーズを満たすと同時に全体のゴールを達成する協働にあり，それに挑む人たちの形成するコミュニティが行動の最小単位となる．

コミュニティが課題を成し遂げ，使命を全うするために実践する社会的行動のひとつにコモニング（Commoning；共有資源の管理と活用）がある．本稿はこのコモニングに焦点を当て，「では，いかにして私たちは自己組織化し自主管理するイニシアチブ（さきがけとなる活動体）ならびに有効な集団的行動をかたちづくるか」という実践的問いに対する仮説を与えることを狙う．まず2章で本稿が前提とする世界観としてコモニング形成に至る想定シナリオを導入し，コモニングはコミュニティが実践する集団的行動であることを述べる．3章で共創活動における知識創造・管理の実践としてのコモニング，また，4章でコミュニティの集団的な知性に対する考察を与える．5章にてそれらの考察を通じて得た知見から組み立てた仮説を整理する．

2.　前提とする世界観；コモニング形成に至る想定シナリオ

情報通信技術が社会や経済，生活のあらゆる面に広く浸透するデジタル時代においては，コミュニティは〈居住地域を同じくし利害を共有する住民同士の共同体〉という旧来からの概念を超えて，〈興味や目的を同じくする者が情報通信技術によって地理的な壁を越えてつながり地域や国を超えて結びついた共同体〉の概念に進化している．それぞれに異なる知識や経験をもつ人たちが集って社会の問題や課題に挑むコミュニティを形成し，目的に向かって課題を達成する――その道筋はひとつだけではなかろう．本稿は，数あるうちの考えうるひとつのシナリオを想定する．

2.1　シナリオ仮説；コモニングは三段階のフェーズを経て形成される

このシナリオでは，活動母体となるコミュニティはあらかじめ存在せず，互いに知らない者同士が大きなテーマのもとで出会って想いを同じくする仲間を見つけるところから始まる．彼ら/彼女らがコモニングを形成してゆく体験は概ね三段階のフェーズから成る．以下，それぞれのフェーズとその課題すなわち達成したい状態を順に考察してゆく．

フェーズ1．共創ネットワーク（誰と何を実現したいか？　を見いだす）：社会の問題や課題に対して目指す方向性へ想いを同じくする者同士らが共創ネットワークで出会い，挑むべき課題を見いだす．共創ネットワークの具体例として，米国シリコンバレー地域のイノベーションネットワーク[*1]や特定のテーマに関する研究や議論を深めるために開催される研究会，協議会などを挙げることができる．このフェーズにて活動の中心となる関心事は，知識・経験・専門能力の垣根を超えた人智と出会い，それぞれの抱える解決したい悩みや実現させたい想いを交わしあい，社会にまつわる問題や課題に対して目指す方向性へ想いを同じくする仲間を見極めることである．さらには，その仲間らとイニシアチブ（さきがけとなる活動体）を組織して皆で挑むべき具体的な課題を見いだし，また，それが達成された社会の将来のシナリオ，すなわ

ち作業仮説としてのビジョンを素描して共感し合うことでもある．その活動の様子がBIPROGYの展望する社会の未来像[1]の中に描き出されている．ここにその一部を引用する．

> よいデザインは、よい「問い」から始まる。よい問いや仮説を立てるには、学びをベースにした対話の充実が欠かせない。そのためよいデザインを考える場の中心には常に対話があり、その外側で意思決定が行われるという構造になる。対話の「主人公」は人である。社会の運営に関わるデザインであるため、その対話には関連分野の専門家や、社会学、経済学、心理学、倫理などの有識者が加わるだろう。宗教家や芸術家の視点は深い示唆を与える。そしてデザインの恩恵や影響を受ける当事者として、多様な背景を持つ人々が社会を代表して参加する。また、時には専門家や当事者でない人の参加がよい問いを生むこともある。（Technology Foresight 2021 ― サステナブルな社会をデザインするための「場」より引用）

このフェーズで達成したい課題は以下の二つである．

課題 1（認知的な信頼の形成）．共創ネットワークに参加する人たちの多様な考えを保ちつつ相互理解が深まり，思考が前向きになって多くの気づきや学びが生まれる．その過程にて，相手の能力や知識・実績に対する合理的評価から生まれる認知的な信頼関係[2]*2の形成が進む．◇

課題 2（共感を基盤とする信頼のネットワーク醸成・維持，イニシアチブの自己組織化）．社会の問題や課題に対して目指す方向性への想いを共有する人たちの間に共感を基盤とする信頼[2]の社会的ネットワークが形成される．ネットワークに参加するめいめいの価値観と共創の目的とが結びつき，イニシアチブが組織されて共に挑む具体的な課題が見いだされる（図 1）．◇

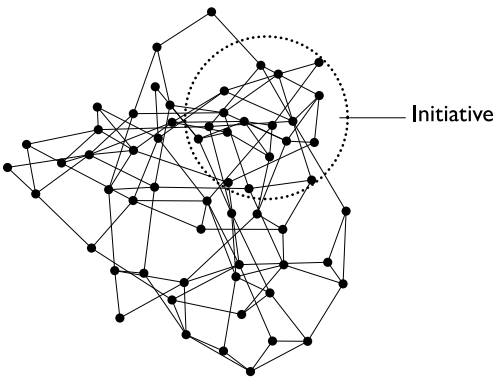

図 1　60 名が参加する共創ネットワークに形成されたイニシアチブの概念図．グラフの頂点は参加者，辺は認知的な信頼関係を表わしている（Stochastic Block Model により疑似的に生成）．共創ネットワークでの交流を通じて知識・経験・専門能力の垣根を超えた人智と出会い，社会にまつわる問題や課題に対して目指す方向性へ想いを同じくする仲間を見極める．その仲間らとイニシアチブを組織して皆で挑むべき具体的な課題を見いだし，また，それが達成された社会のビジョンを素描して共感し合う．

フェーズ 2．目的指向なコミュニティ（どう実現できるか？　をプロトタイピングしデザインを得る）：イニシアチブが共有する価値観の視点が見つかる．その価値観と課題達成に共鳴する仲間が新たに加わり，共に課題に挑む目的指向なコミュニティに発達する*3．そこにて，プロトタイピングを進めてビジョンを精緻化してゆき，それを具現するエコシステム[3][4]のデザ

インを得る．このエコシステムは特筆すべき二つの特徴を持つ．一つには，〈コミュニティの挑む社会課題実現〉という社会的な価値はエコシステム総体として創発的に創り出される価値であること，すなわちエコシステムは参加するめいめいのニーズを満たすと同時に総体のゴールを達成することである．また一つには，エコシステムを成す価値循環の系[5]の中に（次節で述べる）コモニングのプロセスが組み込まれることである．

このフェーズで達成したい課題は以下の二つである．

課題 3（挑むべき課題とビジョン仮説の共創，課題達成に挑むコミュニティの始動）．イニシアチブで共有する価値観の視点が見つかり，挑むべき課題を導出する「よい問い」とその「答え」とが見いだされる．合意された「答え」は即ちイニシアチブの挑む課題となり，それを達成するビジョン仮説が創り出されてゆく．ビジョンと価値観へ想いを共にする人たちが加わり，課題達成に向けたコミュニティに発達する．◇

課題 4（持続するエコシステムの仮説形成）．コミュニティの中にビジョン実現に向けた協働体が組織される．協働体の参加者をはじめとする利害関係者の間で授受される全ての価値循環が検討され，参加者それぞれに参加する意義があり持続するエコシステムが設計される[5]．◇

フェーズ 3．共同プロジェクト（仲間と描いたビジョンを社会に具現する）：エコシステムの核となる部分を共同プロジェクトやコンソーシアム*4，ジョイントベンチャー*5 などの持続する組織体として立ち上げ，運営する．

このフェーズで達成したい以下の課題は，コミュニティが挑む課題そのものである．

課題 5（コミュニティでの共創が共同プロジェクトを生み，課題達成に至るまで活動が持続する）．コミュニティ成員それぞれに意義のある共創がエコシステムの核となる共同プロジェクトを生み，課題達成に至るまで活動が持続する．◇

ここに示した，課題達成に向けた三段階フェーズの道のりは単に一方向に進むのではなく，戻りも起こりうる柔軟性を持つ．たとえば，フェーズ 2（どう実現できるか？　をプロトタイピングしデザインを得る）にてエコシステムのデザインに行き詰まれば，得られた知見やアウトプットをもとに前フェーズ（誰と何を実現したいか？　を見いだす）に立ち返って改めてイニシアチブで挑む課題を検討する．それが実行可能なより良いエコシステムのデザインを導き出す．

2.2　コモニングはコミュニティが実践する集団的行動である

コモニングはコミュニティが目的に向かって課題を成し遂げ，その使命を全うするために実践する集団的行動のひとつである．それは課題を遂行するために皆で利用する資源や場所，すなわちコモンズを生みだし，管理し，維持してゆくための持続的な実践とそれに関わる人びとの関係性とを含む動的なプロセスである．競合性の高い資源の利用や維持管理についてコミュニティ内部の規範を定めることで資源を管理し，また，権利義務関係の法を通じて外部からのアクセスを排除する[6],[7]．言い換えれば，コモニングによって生み出される「コモンズ」はコミュニティによって共同に所有・管理される資源であり，公平かつ持続可能なかたちで利用される．同時に，それはコミュニティが必要な資源を管理するために考え出した規約・規範であり，コミュニティの共有する価値観や志，すなわちアイデンティティを維持する仕組みと体系である．また，それはコミュニケーションと協働を通じて時間をかけて有機的にかたちづくられる．

> They [commons] can arise whenever a community decides it wishes to manage a resource in a collective manner, with a special regard for equitable access, use and sustainability.（コミュニティが公平なアクセスと利用，そして持続可能性に特別な配慮を払いながら集団的なやり方で資源を管理したいと決めれば，コモンズはいつでも発生する可能性がある.）— ボリエ[8] Think Like a Commoner: A Short Introduction to the Life of the Commons より引用

前節のシナリオでは，目的志向なコミュニティがかたちづくられるフェーズ 2 にて，挑む課題を遂行するための資源を管理する方法が議論され，コモニングのプロセスが考え出されてエコシステムの価値循環系の一部として組み込まれる．その有り様を具体的に捉えるための参考として，近い未来に現れるであろう想像上の地域マイクログリッドコミュニティ[*6] に形成されるエコシステムの価値循環系デザインを図 2 に例示する．

コモニングにより管理される資源には，森林，海洋資源，水などの天然資源や，公共交通や上下水道，エネルギーなどの公共基盤，質の高い教材をはじめとする教育資源，さらには文化的作品や工芸・文化などの伝統，知識などを含む様々なものがあるだろう．それは私たちが受け継いだものや創造したものであり，未来の子供たちに引き継いでゆくものである．

ここまで，コモニングはコミュニティが課題実現のために実践する集団的行動であること，ならびにそれが三段階のフェーズ（共創ネットワーク，目的指向コミュニティ，共同プロジェクト）を経て形成されるシナリオを示した．ここからは，多種多様なコモンズの中から例として最後に挙げた「知識」に注目して考察をすすめる．知識にはコミュニティが伝統として受け継ぐもの・未来へ引き継ぐものもあれば，エコシステム形成の過程で新たに見いだしたもの・創りだしたものもある．実際に，2.1 節にて導入したシナリオの中では問い・課題・アイデア・ビジョン・デザインなどをはじめとするたくさんの知識が対話や議論を通じて創りだされている．しかし，それら知識とそれらが創りだされた文脈はコミュニティの記憶として適切に管理されなければやがては忘却され，消滅してしまう．変化してゆく社会の中で課題を遂行することを通じて得た学びを合わせて，コミュニティの記憶はより良い実践を見いだすための知識源である．それはコモンズ——課題を紡ぎだし，解をデザインするための知識コモンズ——として共同で所有・管理されるべき資源である．次章では，この，共創活動にて知識を創造し管理するコモニングについてさらに深く考察する．

3.　考察 1；共創活動にて知識を創造し管理するコモニング

インターネットは分散するデジタル情報を分かち合う伝達路としてはたらく．それは誰かが所有権を有する資源でもなければ国や公共団体が所有・管理する資源でもなく，誰の資産でもなく管理されてもいない無所有でオープンアクセスな資源となっている．インターネットは誰もが何に関することでも情報を分かち合うことを実現したが，その一方で，オープンアクセスであるが故に不正確な誤情報や悪意に満ちた偽情報により汚染され劣化する脅威にさらされる．また，囲い込みや商品化を通じて情報が企業や団体に私有化されることにより，提供者は自分が作った情報をコントロールできなくなったり搾取されたりする脅威にさらされる．知識がデジタル情報として共有されることを鑑みれば，それらの脅威は無視することのできない回避すべき問題となる．

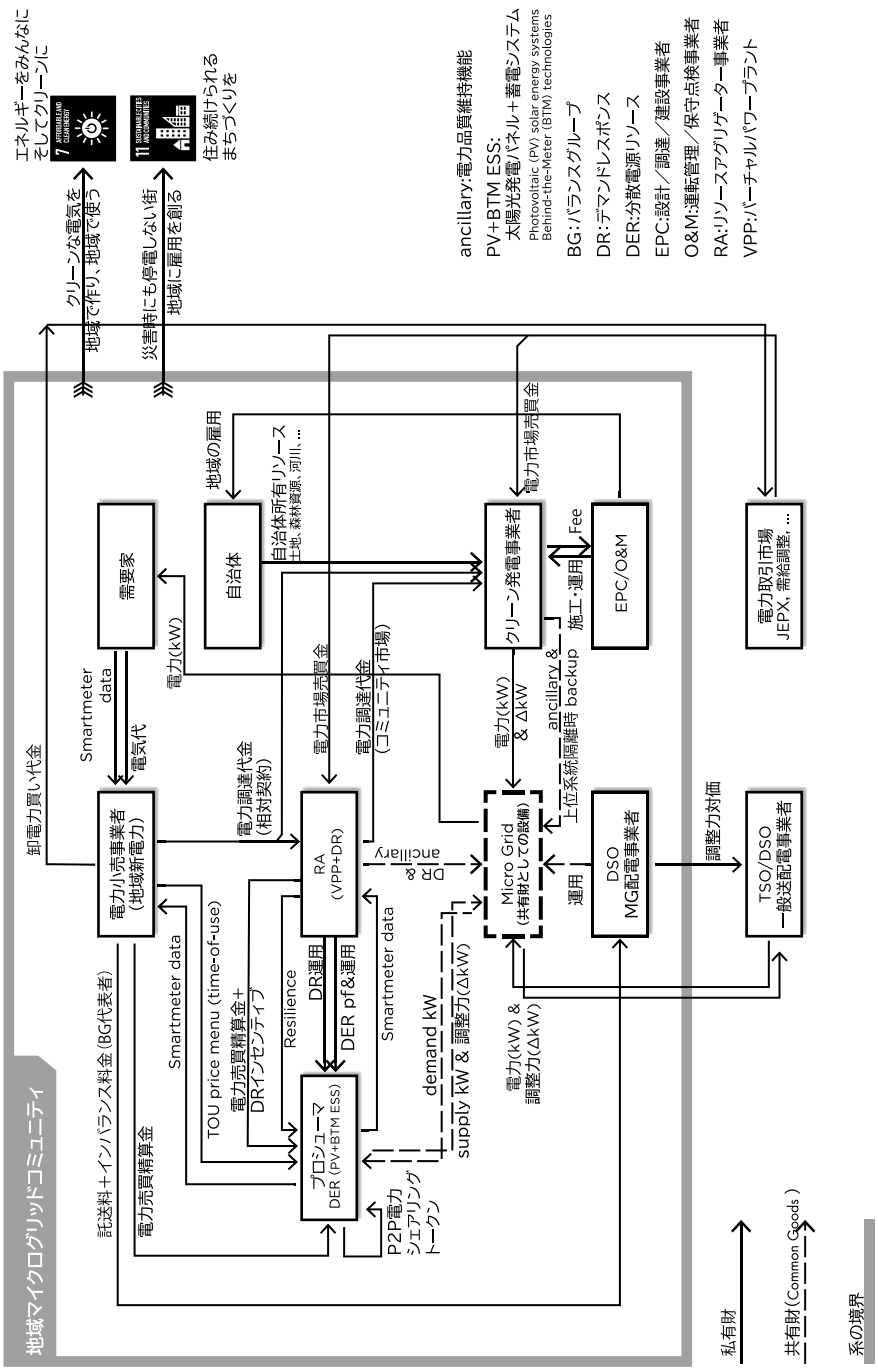

図2　想像上の地域マイクログリッドコミュニティに形成されるエコシステムの価値循環系．図中の長方形はステークホルダーを，矢印はステークホルダー間の価値のやり取りを示す．このコミュニティは地域のカーボンニュートラルを達成し，同時に災害にも耐えうる持続可能な街を実現することを志す．「電気は〈誰かがどこか知らないところで作って，お金を出して買う商品〉ではなく，必要な量だけを地域で作って地域で使う共有資源だ」という急進的かつ利他的な価値観をコミュニティは共有している（利他的な価値観を持つ参加者とリーダーシップがコミュニティ形成を促進する[9]）．課題を達成するために管理するコモンズは地域のマイクログリッド（図中破線の長方形）を構成する系であり，グリッドを流れる電力の需給バランスの維持を（市場原理ではなく）コモニングにより実現する（同，破線で示す価値の流れ）．

コミュニティならびにその原形であるイニシアチブは課題を紡ぎだし，ビジョンを描き，エコシステムのデザインを共創する．同時に，それらは活動の中で交換され，また新たに創られる知識を共有している．それらの知識を「オープンアクセスの資源」ではなく，アクセスする権利を持つ者が限定された「コモンズ」として管理することは，知識の汚染，囲い込み，ただ乗り[*7]などの脅威を軽減する．さらには，そのコモンズは，変化してゆく社会の中でコミュニティが課題を遂行することを通じて得た学びを記憶し，より良い実践を見いだすための知識源となる．

オストロムら[10][11]はコミュニティにて共有される知識をコモンズとして捉えるための三つの概念を整理している（図3）．「著作物（artifact）」は「アイデア（idea）」を表現した論文や研究ノート，書籍，Webコンテンツ，さらには，写真やイラストなどの画像，映像，MIDI音源，検索可能なデータベースなどが代表例であり，その制作者に著作権がある．「アイデア（idea）」はまとまった考えや心に描くイメージ，革新的な着想のイメージなどを代表例とする無形の内容である．「ファシリティ（facility）」は「著作物（artifact）」とそれに含まれる

「アイデア（idea）」を保管し・整理し・アクセス/利用する場所であり，また，それらが行き交う場所でもある．図書館やアーカイブは伝統的なファシリティの代表例であり，書籍や雑誌，論文誌などアイデアの詰まった著作物を所蔵する．こうして三つの概念で捉えるコモンズでは，著作物のみならず，参加者の心の中にある無形のアイデアに加え，それらが集まり・蓄えられ・アクセス/利用される場所としてのファシリティもが集団的なやり方で管理する資源

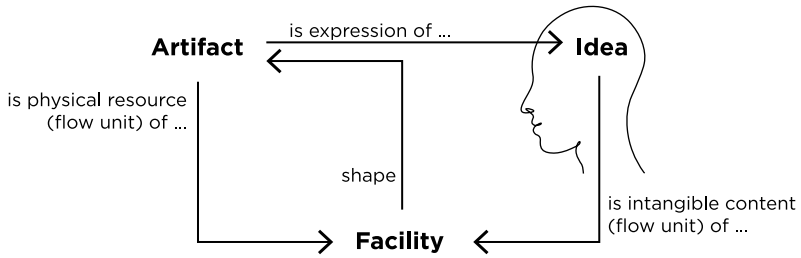

図3　コミュニティにて共有される知識をコモンズとして捉えるための三つの概念―著作物（artifact），アイデア（idea），ファシリティ（facility）―とそれらの相互関係（文脈）― Ostrom and Hess[10], [11]を参照し作図

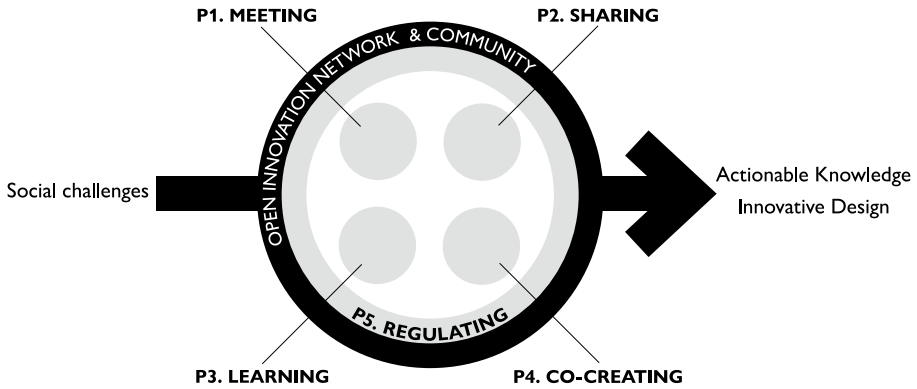

図4　共創活動における知識創造と管理の実践としてのコモニング．P1. 出会い（Meeting），P2. 共有（Sharing），P3. 学び（Learning），P4. 共創（Co-creating），P5. 規制（Regulating）の五つの集団的実践を通じて，課題を紡ぎだし解をデザインしてゆくための知識をコモンズとして管理する

となる．なお，資源の観点から見れば著作物やアイデアはファシリティを行き交う資源の単位であり，ファシリティはそれを保管し，またその流れをつくりだす資源の系である[11]．このコモンズの捉え方を，コミュニティが課題を紡ぎだし解をデザインしてゆく〈共創活動にて知識を創造し管理するコモニング〉へ広げる．ファシリティ（facility）はデジタル空間にまで拡張され，地理的制約をも超えるコラボレーション・交流の場所となる．著作物（artifact）には共創のために持ち寄られる知識や創り出される成果物をはじめとする知的資源が含まれ，また，アイデア（idea）にはスキルやノウハウ，ものの見方，思考のフレームなど，情報として直接表現できない暗黙知が加わり，個々人の中で起こる暗黙知の創出もコモニングの射程に入る．こうして拡張したコモンズを 2.1 節で述べたシナリオから分析的に捉えれば，それは下記のリストに示す五つの集団的実践，すなわち〈共創活動における知識創造と管理の実践としてのコモニング〉となる（図 4）．

P1. 出会い（Meeting） 出会う，つながる，考えを交わす，知識・経験・専門領域の垣根を超えてチームを形成する/チームに招く，アライアンスを形成する．

P2. 共有（Sharing） 知識・ノウハウ・資源を分ちあう/供与する/交換する，データ・情報・知識を蓄える/見いだす．

P3. 学び（Learning） 共に学び合い，スキル・ノウハウを習得し能力を構築する，知識を獲得してコンピテンシー（能力・技能を発揮する力）やノウハウ（コモンセンス）を確立する．

P4. 共創（Co-creating） 共に課題に挑む（協働），共に製作/創造する（共創）．

P5. 規制（Regulating） 知識の取り扱いを制御する．貢献を特定し保全する，知識へアクセスする/利用する，知識の機密性/完全性/可用性/真正性を確保する．

言い換えれば，コモニングが〈相互信頼をかたちづくり学びと協働・共創が起こる場〉をコミュニティに創りだす．

本章では，共創活動における知識管理の実践としてのコモニングについて考察した．次章では，変化してゆく社会の中でコミュニティが課題の遂行を通じて得た学びを記憶し，より良い実践を見いだす集団的な知性について考察する．

4. 考察 2；目的志向なコミュニティの集団的な知性

コミュニティの参加者が共に問題に挑む――そうした場での対話や交流，グループタスクへの取り組みを通じて（限定された合理性という限界を持つ）個々人の認知能力を超越する集団的な知性[12]がコミュニティに創発する．それは「具体的で実践的な問い＝よい問い」を見いだして挑む課題を紡ぎだし，その達成に向けた集団的行動を賢く選ぶ．

4. 1 総体としてあたかも知性を持つかのようなエージェントとしてコミュニティを捉えることができる

答えのない社会の問題や課題に挑むコミュニティは成員の集う集合体であるが，それを総体として志（己の存在意義）と価値観とを持ち行動するエージェントとして捉えることができる．すなわちそれは，取り巻く環境を観て，感じて，状況を理解して志を全うするための行動を見

いだし，価値観に照らして決断して行動し，行動による環境の変化を学び，記憶する――あたかもそういう知性を持つかのようなエージェントである．図5はマローン[12]による集団的な知性“Supermind”の認知過程の図をもとに，コミュニティの集団的な知性をかたちづくる認知過程をモデル化した概念図である．この反復的な認知過程は，変化してゆく社会の中で問題となっている事象の知覚から始まる．新たに持ち寄る解消したい問題やニーズがソースとなり，それらをそれぞれ他者による異なる視点で捉える（observe）．次に，異なる背景/経験/専門知識の観点で問題を背景や状況に文脈づけ，そこから問題の本質に対する理解を形成し，また新たに達成すべき課題の候補すなわち問題に対する打ち手となる仮説を紡ぎだす（orient）．これまでにコミュニティが課題を遂行することを通じて得た学び（learn）の記憶（remember）は，的を得た共通理解や有効な課題設定のための知識源となる．それぞれの課題が想定しているアウトカムに対して成員めいめいの洞察を束ね，候補の中から次に達成すべき課題を決め（decide），その達成に向けて行動する（act）．行動は目論見どおりの効果をもたらすこともあれば，時に失敗に至ることもある．情勢の変化や行動の効果による社会の変化と仮説との差異から，隠れていた問題の新たな側面を学ぶ（learn）．

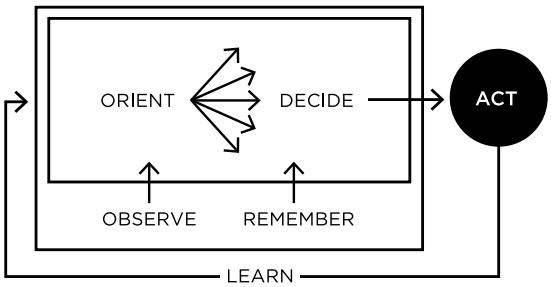

図5　コミュニティの集団的な知性をかたちづくる認知過程．取り巻く環境を観て（observe），感じて，状況を理解して志を全うするための行動を見いだし（orient），価値観に照らして決断して（decide）行動し（act），行動による環境の変化を学び（learn），記憶する（remember）．

上記で述べた集団的な知性の持つ認知機能[*8]は成員のグループ活動から創発する．この総体レベルの認知機能は下位レベルにある活動の機構に干渉はせず，未決定となっていることに制約を与えることで活動を導く．たとえば，共創のための知識を創造し管理する五つのグループ活動（3章）からは，〈課題を遂行することを通じて得た学びを記憶し，変化してゆく社会の中で志を全うするより良い実践を見いだしてゆく認知機能〉が総体レベルに創発し，それがコミュニティの課題導出や意思決定の過程を司り，また下位レベルの（五つの）活動に制約を与えて導く（図6）．

4.2　生体知能と人工知能；異なる類の知能が協調して創発する集団的な知性が規模の大きい複雑な問題に対するより良い解決策を導き出し，同時に行動の俊敏性を高める

デジタル時代においては人の脳から生まれる知能と人工知能（AI）とが認知能力を補い合って新たなる知識や考え方を創り出してゆく．AIは規模の大きな問題に対する解を導き出すための知識とそれを実現させる術を我々にもたらす可能性を秘めている．それは協働パートナーとして人の知能を拡張し，能力を強化する[13],[14]．換言すれば，類が異なる二つの知能の協調

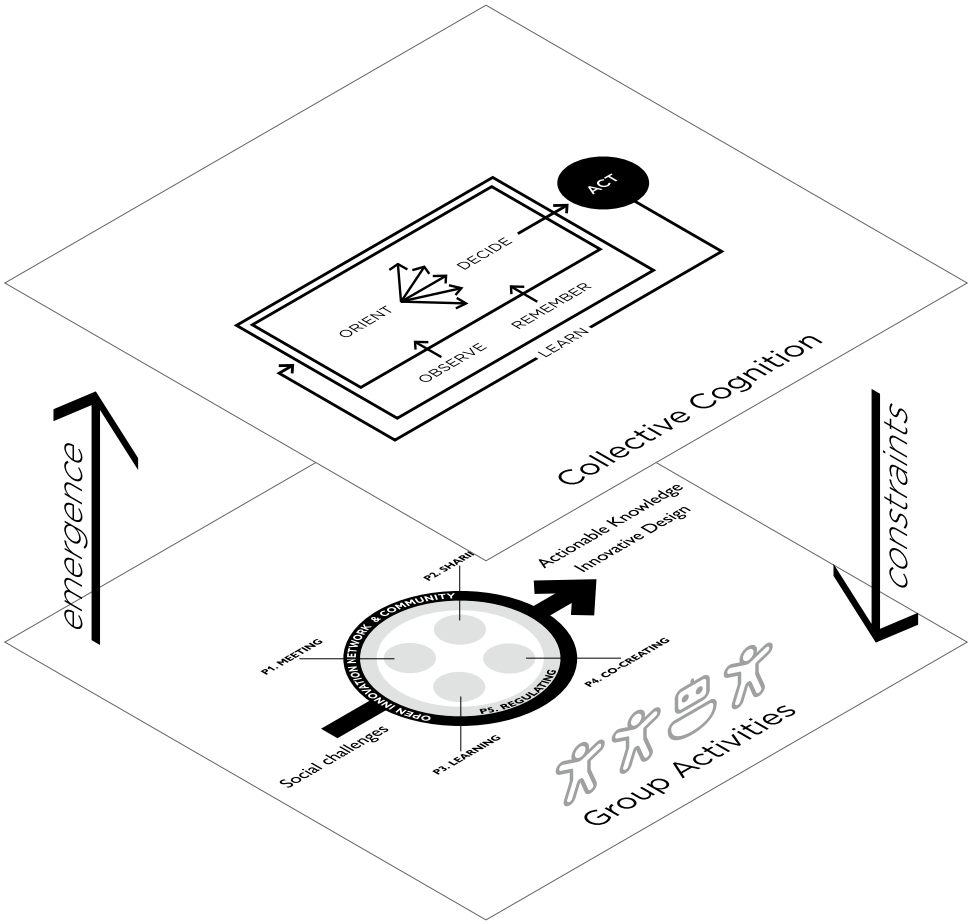

図 6　成員のグループ活動から創発するコミュニティの集団的な認知機能．五つのグループ活動（Group Activities）から，集団的な認知機能（Collective Cognition）が総体レベルに創発し（emergence），それがコミュニティの課題導出や意思決定の過程を司り，また下位レベルの（五つの）活動に制約を与えて導く（constraints）．

がアウトカムをよりよいものにする．

人とは異なる知能を持つ AI エージェント[*9]がコミュニティの成員として加わり問題に挑む——そこに創発する（個々人や AI 単体の能力を超える）集団的な知性は規模の大きい複雑な問題に対するより良い解決策を導き出し，同時に行動の俊敏性を高める．たとえば，気候変動など人類が直面する複雑な問題に挑むコミュニティが，挑む課題を紡ぎだす過程（シナリオのフェーズ 2）を考えてみる．このような問題に対する解を深く考えて決断するときには，問題や候補解を皆で系統立てて整理し理解し，分析し，一番有効な策を決断するという過程を経る．クレインらの Collaboratorium[15], [16]*10 や伊藤らの D-agree[17] など，Issue-Based Information System（IBIS）手法[18]を用いて討議の進行を円滑にし，議論を活性化させる役割を担うモデレータエージェントは，議論の軌跡をネットワークの形に可視化して捉えた知識を創りだし（図 7）皆が合意できる決断へと討議を導く．つぎに，こうして紡いだ課題をエコシステムとして社会に実装し，行動する過程（シナリオのフェーズ 3）においては，衛星画像や IoT デバイスなどネットワークにつながれたセンサー群が多角的な視点からリアルタイムに状況を捉え

(observe)，変化してゆく問題の全体像を捉えること（orient）ができるようにする．また，AI エージェントがそれら複数のデータ列からパターンを特定して問題の推移をリアルタイムに捉え，予測モデルがより正確な洞察を与える．それらはコミュニティが問題を理解する能力（orient）を高める．機械学習にて駆動する意思決定支援エージェントが環境の変化を分析し，それがもたらす影響を推定してコミュニティの取る最適な行動を推奨し，取り得る候補の中からより効果的な行動を選択（decide）できるようにする．こうして，生体知能と人工知能が協調して創発するコミュニティの集団的な知性は「具体的で実践的な問い」を見いだして課題を紡ぎだし，その達成に向けた集団的行動を賢く選ぶ．

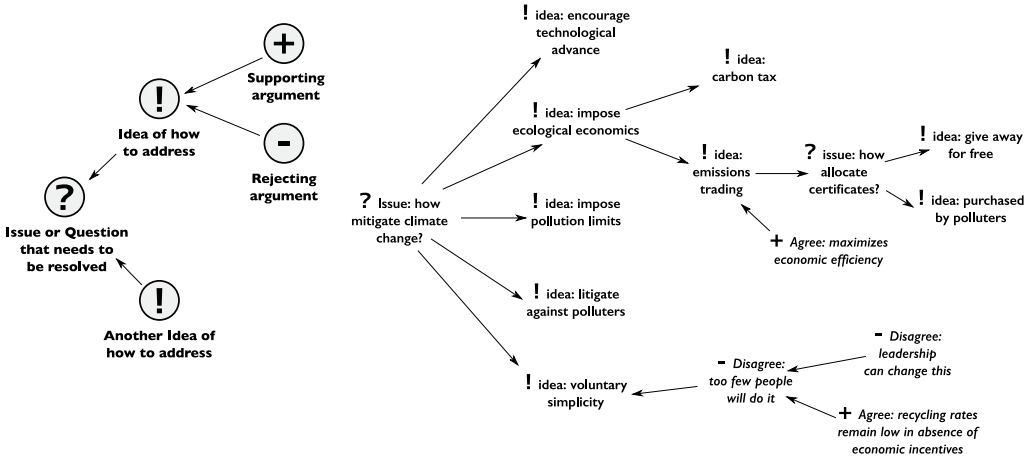

図 7　Collaboratorium による討議の可視化例（出典：Klein et al.[15], [16]）

5. ま と め

社会の課題に挑むコミュニティならびにコモニングは予め決まったかたちで世の中に存在するのではなく，集団的な意思決定の実践を通じてかたちづくられる．本稿の結論として，冒頭に立てた問い「社会の問題を解消し，また社会の課題を達成するために，いかにして私たちは自己組織化し自主管理するイニシアチブならびに有効な集団的行動をかたちづくるか.」に対する仮説を整理する．

仮説 1. コミュニティは地理的制約を超えた共感と認知的信頼に基づく自己組織化によって形成され，三段階のフェーズ（共創ネットワーク，目的指向コミュニティ，共同プロジェクト）を経て挑む課題の達成へと進む．◇

イニシアチブは共感をもとにした信頼をベースに，共創ネットワークの中に自己組織化する．その共感とは社会の問題や課題に対する目指す方向性への想いである（課題 2）．イニシアチブ形成の前段階には，相手の過去の業績や社会的属性にもとづく認知的な信頼（頼ることができる人）関係の形成がある（課題 1）．それは知識・経験・専門能力の垣根を超えた人智と出会い，それぞれの抱える解決したい悩みや実現させたい想いを互いに交わしあう中で形成される．コモニングをはじめとする社会の課題を達成する集団的行動はイニシアチブが発達して形成するコミュニティにかたちづくられる．すなわち，コミュニティにて，挑む課題を遂行

するための資源を管理する方法が議論され，コモニングのプロセスが考え出されてエコシステムの価値循環の系に組み込まれる（課題 3，4，5）．

仮説 2. 出会い・共有・学び・共創・規制の五つの集団的実践による〈共創活動にて知識を創造し管理するコモニング〉が知識コモンズを創出・維持する．◇

コミュニティならびにその原形であるイニシアチブは課題を紡ぎだし，ビジョンを描き，エコシステムを形成すると同時に，それら活動の中で交換される/新たに創られる知識を共有する．後者は〈共創活動にて知識を創造し管理するコモニング〉として実践され，分析的に捉えれば，それは五つの集団的実践すなわち，出会い，共有，学び，共創，規制である．このコモンズでは，資源としての知識のみならず，それらが集まり・蓄えられ・アクセス/利用される場所としてのファシリティも集団的なやり方で管理する対象となる．さらには，知識には個々人の心の中にあるアイデアや情報として直接表現できない暗黙知を含み，学びを通じて個々人の中で起こる暗黙知の創出もコモニングの射程に入る．

仮説 3. 生体知能と人工知能の協調により創発するコミュニティの集団的知性は複雑な問題への対処能力と行動の俊敏性とを高める．◇

コミュニティは成員の集合体であるが，それを「総体としてあたかも知性を持つかのようなエージェント」として捉えることができる．エージェントは自らの行動を決定しゴールを達成する知性を持ち，また環境の変化を学んで予測の難しい不確実な環境に適応する知能をも備える．すなわち，取り巻く環境を観察し，状況を理解して志を全うするための行動を見いだし，価値観に照らして決断して行動し，行動による環境の変化を学び記憶する．この，エージェントの（集団的な）知性は成員のグループ活動から創発し，同時にその活動を制御する．AI をはじめとする情報通信技術が組み込まれたソフトウェアエージェントや自律ロボットが成員として加わったコミュニティの集団的な知性は，規模の大きい複雑な問題に対処する高い能力を持ち，解決策を導き出し，同時に行動の俊敏性を高める．

6. お わ り に

社会の問題を解消したり課題を達成したりすることに挑むとき，本稿で仮説として示したコミュニティを単位とする〈相互信頼をかたちづくり学びと協働・共創が起こる場の枠組み〉はその唯一のやり方でもなければ，成功を約束する特効薬でもない．だが，（ボリエ[8]が説くように，）人が集い，同じ経験を共有し，実践的な知識を蓄積するなかで有機的に形成されるコモンズは，意思決定権限の分散，自己組織化，実践ベースという三つのアプローチで集合的に社会を作り変えることができる．ひとつのコミュニティが始めるコモニングが社会に小さな変化をもたらし，そこからさらなるコモニングが生まれ，変化が社会システム全体に広がって累積的に大きな課題の達成に近づいてゆく――私たちはそういうシナリオを世に実現させることができるのではあるまいか．それは理想郷のような夢としてではなく，現実的なこと，場合によっては必要な目標として考えられるべきである．

謝辞　本稿に示す仮説を立てるにあたり，BIPROGY の有志らによるデジタルコモンズをテーマとする一連のワークショップでの議論を通じて学んだことを組み入れた．共に議論を重ねた皆さまに深く感謝いたします．

＊1　スタンフォード大学を核とした学界，HP（Hewlett Packard）に代表されるハイテク産業，そして多数のベンチャーキャピタルが緊密に連携して，高度な人材交流，知識・技術の移転，起業家精神を育むことで形成されている．スタートアップを育む場となるコミュニティー型の共有ワークスペースが他の起業家や専門家との交流機会を提供し，また，知識やスキルの習得を支援することでイノベーションと情報共有を促進させる．

＊2「信頼」（cognitive trust）とは，信頼を寄せる者 A と，信頼を受ける者 B との間の動的な関係．A は B を信頼し，B に依存する．A は B が自分のために具体的に行動してくれることを信用している．

＊3　共創ネットワークからコミュニティがスピンアウトする重要な転換点となる．

＊4　コンソーシアム：共通の目的を持つ複数の組織が協力するために結成する共同体．

＊5　ジョイントベンチャー（joint venture）：複数の企業が共同出資して立ち上げる新しい会社．

＊6　電力グリッドは発電所で創られる電気を家庭や商業施設など電気を消費するところへ配る電力ネットワークである．グリッドを流れる電気はそれをつくり出す流量（供給）と消費流量（需要）とが同じ時に同じ量になっている（需給のバランスが取れている＝同時同量の原則）ことが必要であり，野放図に電気を流すことはできない．需要と供給のバランスが崩れるとグリッドを流れる電気の周波数が変化し，その変動幅が許容範囲を超えれば発電所が停止して大規模停電に至る．需要変動による数秒間周期の時間枠での周波数の乱れに対処するために，グリッドオペレータは火力発電所や水力発電所の出力をリアルタイムに制御して周波数を一定に保つ．また，より長い周期の変動に対しては需要予測に基づき取引市場で調整力（ΔkW）を確保する．脱炭素社会実現のピースとなる太陽光発電や風力発電などの自然由来電力は天気や風に頼る不安定なエネルギーである．グリッドに供給される電力の中で自然由来電源の占める割合が増えるにつれて，同時同量の制御が難しくなってゆく．それを最大限に活用しつつ安定供給を実現することが課題となっている．コミュニティは地域のカーボンニュートラルを達成し，同時に災害にも耐えうる持続可能な街を実現することを志す．課題を達成するためにコミュニティが管理するコモンズは地域のマイクログリッドを構成する系であり，グリッドを流れる電力の需給バランスの維持を（市場原理ではなく）コモニングにより実現する．資源としての観点から見れば，マイクログリッドの系は「資源の系（resource system）」でありコミュニティにより需給バランスが共同管理され，またグリッドを流れる電力は「資源の単位（resource unit）」となり，電力を発電する者/消費する者により私的に利活用される．

＊7　知識の「ただ乗り」とは，その維持や管理に責任を負わずにアクセスや利用することを指す．

＊8　認知機能とはエージェントが外界の情報を取り込み，それを理解・記憶・思考・判断し，適切に行動するために必要な知的な機能の総称．

＊9　本稿では「AI エージェント」ということばを「人による介入を必要とせずに自らの行動を決定しゴールを達成する能力を持つソフトウェアエージェントやロボット」という意味合いで用いる．それはまた，行動による環境の変化を学習し，変化する環境へ適応する能力を備える．

＊10　議論の論点を(1)issue＝提起する課題(2)idea＝それを解決するアイデア(3)argument＝そのアイデアに賛同するまたは反対する意見，の三つのカテゴリーに分け，それらを木構造ネットワークのノードとして配置して整理し討論を可視化する手法．

参考文献　［1］ BIPROGY(株)．Technology Foresight 2021 ― リアル空間とサイバー空間の新結合によりサステナブルな社会をデザインする．https://www.biprogy.com/pdf/com/tech/technology_foresight/TechnologyForesight2021.pdf, 2021.

［2］ 田原慎介．ネットワークにおける組織間の信頼構築プロセス．Transactions of the Academic Association for Organizational Science, Vol. 6, No. 2, pp. 32–37, 2017.

［3］ Martha G. Russell and Nataliya V. Smorodinskaya. Leveraging complexity for ecosystemic innovation. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 136, pp. 114–131, 2018.

［4］ Masaharu Tsujimoto, Yuya Kajikawa, Junichi Tomita, and Yoichi Matsumoto. A review of the ecosystem concept — Towards coherent ecosystem design. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 136, pp. 49–58, 2018.

［5］ 丹羽南，山田勉．ビジネスエコシステムにおける社会的・経済的価値循環設計手法

の提案．BIPROGY 技報，BIPROGY，通巻 155 号，Vol. 42，No. 4，pp. 307–320，2023 年 3 月．
［6］ Fikret Berkes. Common property resources: Ecology and community-based sustainable development. Belhaven Press, London; New York, 01/1989 1989. Published in association with the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources; Conference on Conservation Development Implementing the World Conservation Strategy (1986: Ottawa, Ont); World Congress of Ecology (4th: 1986: Syracuse, NY).
［7］ 高村学人．コモンズ研究の法社会学に向けて：企画趣旨説明．法社会学，Vol. 2010，No. 73，pp. 136–147，2010.
［8］ D. Bollier. Think Like a Commoner: A Short Introduction to the Life of the Commons. G - Reference,Information and Interdisciplinary Subjects Series. New Society Publishers, 2014.
［9］ Amineh Ghorbani, Leonardo Nascimento, and Tatiana Filatova. Growing community energy initiatives from the bottom up: Simulating the role of behavioural attitudes and leadership in the Netherlands. Energy Research & Social Science, Vol. 70, p. 101782, 2020.
［10］ Elinor Ostrom and Charlotte Hess. A Framework for Analyzing the Knowledge Commons. The MIT Press, 2007.
［11］ Charlotte Hess and Elinor Ostrom. Ideas, Artifacts, and Facilities: Information as a Common-Pool Resource. Law and Contemporary Problems, Vol. 66, No. 1, pp. 111–146, 2003. Available at: https://scholarship.law.duke.edu/lcp/vol66/iss1/5.
［12］ Thomas W. Malone and Michael S. Bernstein. Handbook of collective intelligence. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts ;, 1st ed. edition, 2015 - 2015.
［13］ De Cremer D and Kasparov G. AI should augment human intelligence, not replace it. Harvard Business Review, MARCH 2021.
［14］ 山田茂雄．キカイのチームメイトと共に課題に挑む．ユニシス技報，日本ユニシス，通巻 145 号，Vol. 40，No. 2，pp. 139–154，2020 年 9 月．
［15］ Mark Klein and Luca Iandoli. Supporting Collaborative Deliberation Using a Large-Scale Argumentation System: The MIT Collaboratorium. SSRN Electronic Journal, 02 2008.
［16］ Mark Klein, Paolo Spada, and Raffaele Calabretta. Enabling Deliberations in a Political Party Using Large-Scale Argumentation: A Preliminary Report. 05 2012.
［17］ Takayuki Ito, Raf Hadfi, and Shota Suzuki. An Agent that Facilitates Crowd Discussion. Group Decision and Negotiation, Vol. 31, No. 3, p. 621–647, 2022.
［18］ Jeff Conklin. Dialogue Mapping: Building Shared Understanding of Wicked Problems. John Wiley & Sons, Inc., USA, 2005.

※上記注釈および参考文献に含まれる URL のリンク先は，2025 年 6 月 1 日時点での存在を確認．

執筆者紹介 山　田　茂　雄（Shigeo Yamada）
1983 年日本ユニバック株式会社（現 BIPROGY）入社．知的エージェントや認知アーキテクチャの研究開発に従事．ACM，IEEE 会員．

コミュニケーションにおける理解や共感の促進にむけた取り組み

Efforts to Enhance Comprehension and Empathy in Communication

斉藤功樹，榎本　真，銭尾春仁

要　約　コミュニケーションにおいて理解や共感は重要な役割を果たしており，それらを促進することで信頼関係が醸成され，生産的で効率的な関係を構築できる．本研究ではコミュニケーションにおける理解や共感の促進に向けて，実際のコミュニケーションを模した実験を行い，対話内容の可視化と相手の理解度や共感度などの状態推定に取り組んだ．その結果，対話内容の可視化においては絵や図などで構造化するグラフィックレコーディングの一部を自動化して表示することにより，聞き手の理解を促進する可能性が示唆された．相手の状態推定においては，聞き手と話し手の生体情報の同期度を用いることで聞き手の理解度や共感度を推定できることが明らかになった．

Abstract　In communication, people can build trust which leads to productive and efficient relationships when they comprehend or empathize with others. This study explores methods to enhance comprehension or empathy in communication by visualizing the content of conversations and estimating the other person's internal states through experiment that simulates actual communication. The results showed that automated visualization of conversation contributed to improving comprehension. In estimating listener's internal states, it became clear that the level of comprehension or empathy could be grasped by biometric synchronization between speaker and listener.

1. はじめに

人はコミュニケーションなしには生きられず，他者と関わり合いを持ちながら，社会生活を営んでいる．対人関係を円滑にするコミュニケーションは重要であり，well-being（身体的・精神的・社会的に良好な状態）の向上に繋がる[1]．

価値観や考えが多様化する現代において，多様な背景を持つ人たちとのコミュニケーションの機会が増しており，そのような人たちと事業を進めていくためには信頼関係が重要である．社会の潤滑油として働く信頼が欠如すると，自己の利益を最優先しようとする機会主義的行動の可能性が高まると報告されている[2]．信頼関係が構築されている場合は，情報交換が活発になり，累積的でかつ相乗的な相互作用が生じ，生産的な関係を構築できるとも報告されている[3]．このようなことから特にビジネスの場において信頼関係は非常に重要な役割を果たすものの，利害関係の問題や背景の違いからその構築は容易ではない．

信頼関係の構築において，理解や共感といった人の内的状態が重要な役割を果たすことが知られている[4]-[6]．自身が相手に対して理解や共感を示すことで相手への好意が増し[5]，好意が媒介して相手との信頼関係の構築に寄与することが報告されている[6]．また，ビジネスの場では，国際化が進み，より多様な国籍，文化，タイムゾーンの人たちとの協働が求められ，共感がよりよい労働環境作りにおいて重要な要因であると報告されている[7]．

しかし，コミュニケーションにおいて相手の発言に対して理解/共感しづらい，相手が理解/共感してくれているのか判別できないなどの課題が存在するため，それらを促進する支援が求められる．そこで，本研究では，言語と非言語の二つの観点で，理解/共感を促進する取り組みを実施した．

言語の観点では，相手との対話内容を図や絵などの視覚表現（以降，グラフィック）を用いて自動的に可視化することで，理解/共感の促進を試みる．話し手が説明する内容をグラフィックで記述し，構造化する手法であるグラフィックレコーディングを用いることで，受け手が共感を覚えやすいことが報告されている[8],[9]．しかし，その効果はグラフィックを描画する人（以降，レコーダー）の能力に依存するため，多くの人が納得し，共感するようなグラフィックを生成することは容易ではない．そこで，グラフィックレコーディングの工程の一部の自動化を試みた．

非言語の観点では，コミュニケーションにおいて興味関心を抱いた聞き手は話し手に対して脳波，心拍，体動及び瞬目（瞬き）などの生体情報が同期することが報告されていることから[10]-[14]，生体情報の同期を用いることで理解/共感の推定を試みる．さらに，相手から理解/共感されたと感じることによって，相手への好意が増したり，自分と相手が重なっているように感じやすくなったりすることが報告されている[15]．そのため，相手が理解/共感してくれているもののそれが表情などからはわかりにくい状況において，相手の理解度や共感度を推定して提示することで，相手から理解/共感されたという知覚を促進することができ，信頼関係構築に繋げられると考えた．

本稿では，実際のコミュニケーションを想定した説明動画を用意し，動画視聴時の参加者の生体情報や主観的質問票（以降，質問票）の結果を基に，自動化したグラフィックレコーディングの効果を確認し，生体情報の同期度と理解/共感度の関連性を調査した取り組みについて述べる．まず 2 章で調査方法を説明し，3 章で調査結果を示して，4 章で考察を述べる．

なお，本稿は人工知能学会全国大会（第 39 回）[16],[17]にて発表，Proceedings of The 47th Annual Meeting of the Cognitive Science Society（CogSci2025）[18]にて発表の論文を加筆・修正したものである．

2. 調査方法

本章では，調査のために行った実験の内容と，話し手が説明する内容を可視化するグラフィック描画プログラム，体動や瞬目の同期を検出する仕組みについて説明する．

2.1 実験

実験の参加者（以降，参加者）は三つの説明動画を視聴し，その後に視聴した動画を基にアイデア発散ゲームを行い，質問票に回答した．アイデア発散ゲームでは，拡散的思考タスクである Alternative Uses Task[19]を用いて，説明動画内で紹介した研究の活用アイデアを，できるだけ多く回答してもらった．グラフィックレコーディングはアイデア発散に効果があることが報告されているため[9]，それらの効果を確かめる目的でアイデア発散パートを実施した．動画視聴時の参加者の上半身部分を録画し，生体情報として用いた．なお，動画の中で説明する人物（以降，発話者）は一人である．

2.1.1　参加者

参加者は，社内での募集を通じて自発的に参加したBIPROGY株式会社の従業員22名（男：8，女：14），20歳代：4，30歳代：8，40歳代：7，50歳代：3であり，参加者の視力は正常（矯正含む）であった．実験はヘルシンキ宣言の原則[*1]に基づいて行われ，実験計画はBIPROGY株式会社の倫理審査の承認を得た．参加者は実験に先立ち，インフォームドコンセントに署名した．

2.1.2　実験に用いる動画と実験の流れ

参加者が視聴する動画は，研究テーマについて発話者が説明する動画である．三つの研究テーマごとに説明原稿を用意して，それぞれの研究テーマに対して三つの形式の動画を作成した．一つ目の動画形式は，発話者がその原稿を基に口頭で約3分間説明する姿を上半身のみ撮影した動画（図1（A））である．二つ目は，この口頭説明の動画を元に，同一のレコーダーによる描画過程を合成した動画（図1（B）），三つ目は，動画原稿を元にしてグラフィック描画プログラム（2.2節で詳説）の描画過程を合成した動画（図1（C））である．

なお，三つの研究テーマは全て同一の発話者が説明する．また，参加者を三つのグループに分けることにより，視聴する動画の研究テーマと動画形式が重複しないように配慮した．

図1　動画形式のイメージ，(A) 描画なし（口頭説明），(B) 描画あり（レコーダー），(C) 描画あり（プログラム）

参加者は実験時にウェブ会議に参加して，実験方法についての説明を受けた後，PCで実験プログラムを起動して実験を開始した．安静時計測でPCの画面を眺め（図2①），アイデア発散の例題を実施（図2②）した後，内容と形式の異なる三つの動画について，動画視聴（図2③）とアイデア発散ゲーム（図2④）と質問票回答（図2⑤）に取り組み，安静時計測で画面を眺めて（図2⑥）実験を終了した．アイデア発散の例題は，アイデア発散ゲームに慣れるために一度だけ実施した．

安静時計測時と動画視聴時にPC付属のカメラで参加者の上半身部分を録画した．ビデオ視聴後，参加者はそれぞれ，主観的質問票に，話し手の印象や研究テーマに対する理解，興味，共感，支援について，5件法（5段階評価）で回答した．

実験結果の分析には，対話内容の可視化では，アイデア発散パートの結果と質問票回答パートで取得した回答を，相手の状態推定では，動画視聴パートで描画なし（口頭説明）の動画を視聴した際に参加者の上半身部分を録画した動画と質問票回答パートで取得した回答を使用した．

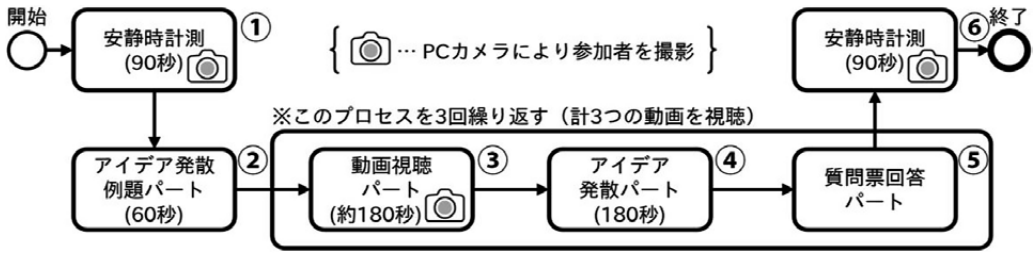

図 2　実験の流れ

2. 2　対話内容の可視化

2.1.2 項で述べた三つ目の動画形式（図 1（C））を作成するため，画面上で選択した文のテキストから名詞句と名詞を抽出し，名詞句を文字で，名詞をグラフィックで描画する処理を自動化したグラフィック描画プログラムを作成した．このプログラムの入力となるテキストは，発話者が説明する内容が音声認識によりテキスト化され，人またはプログラムによって誤認識が修正され，文の区切りが適切に行われた状態を想定している．

2. 2. 1　グラフィック描画プログラム

グラフィック描画プログラムの画面構成は，左上部に原稿の編集と描画に関する操作領域，その下にグラフィック描画の対象となる文を表示し選択するための原稿領域を配置し，右上部にタイトル領域，その下にグラフィックの描画領域を配置した．グラフィック描画領域は 2 列とし，1 列に 8 行，各行は，先頭に名詞句表示領域を一つ，その後にグラフィック表示領域を四つ設けた（図 3）．

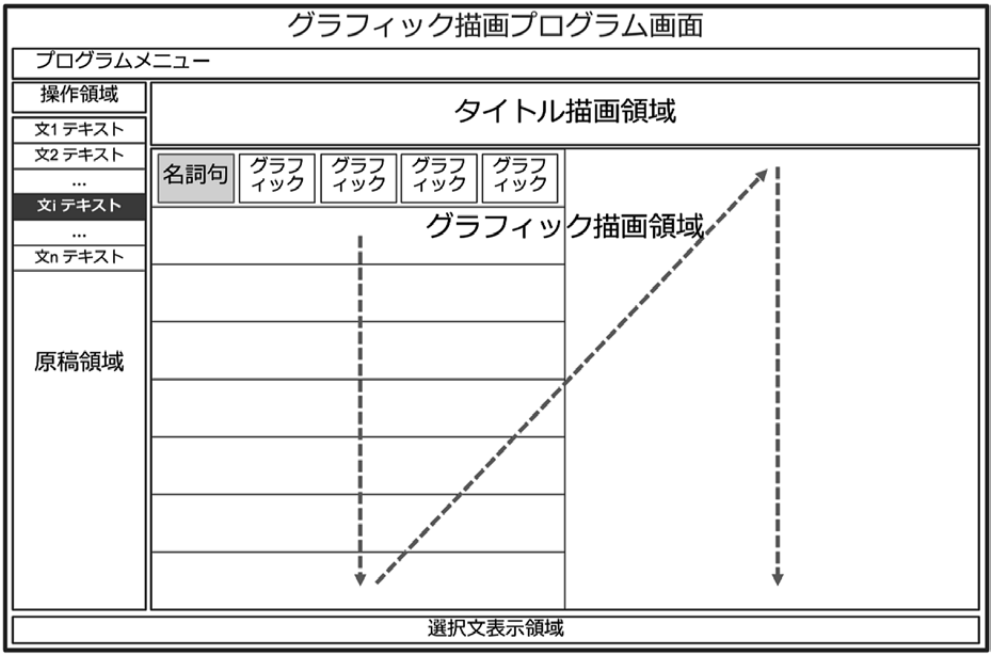

図 3　グラフィック描画プログラムの画面構成イメージ

グラフィック描画プログラムは，原稿のテキストファイルを読み込んだ後，原稿領域でリスト表示された文を選択すると最下部の選択文表示領域に文を表示する．操作領域にあるボタンでグラフィック描画を指示する操作を行うことにより，名詞句のテキスト描画と名詞に紐づいたグラフィックが存在すればその描画を行う．文中の名詞に紐づくグラフィックが四つを超えた場合は次の行のグラフィック表示領域に描画する．新たなグラフィック描画指示が行われた場合は次の行に移動して処理を行う．1 列目の最終行を超える場合は 2 列目の 1 行目に移動して描画を行い，16 行を超える描画は行わないこととした．グラフィックのイメージは，名詞のテキストとそれを説明する絵で構成し，プレゼンテーションソフトウエアで作図し画像ファイルを作成した．

2.2.2　実験の準備

実験に用いる動画を用意するため，グラフィック描画プログラムに研究テーマを説明する原稿を読み込ませて，「描画なし（口頭説明）」形式の動画を視聴しながら，発話者が話し終えた文に対してグラフィック描画の指示を行い，グラフィック表示されていく画面をキャプチャーして動画として記録した．この記録した動画のタイトル描画領域とグラフィック描画領域の範囲を「描画なし（口頭説明）」形式の動画（2.1.2 項の図 1（A））と合成し「描画あり（プログラム）」形式の動画を作成した．

2.3　聞き手の状態推定（体動の同期）

説明動画および参加者の録画からそれぞれ頭部姿勢を検出し，体動の同期を算出する手法について説明する．

2.3.1　動画処理

説明動画および参加者の録画から頭部姿勢を推定して取得した．頭部姿勢はオイラー角（ヨー，ロール，ピッチ）（図 4）で表される．推定には Google-MediaPipe[20]，OpenCV[21]，および perspective n-points（カメラの位置姿勢の推定を行ってから実空間の物体の座標を推定すること）[22]を用いた．

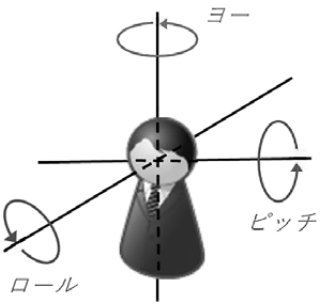

図 4　頭部姿勢

2.3.2　時系列リサンプリング

説明動画のフレームレートは 24Hz であり，説明動画のヨー，ピッチ，ロールもサンプリン

グ周波数が 24Hz である時系列データとして表される．参加者は各自 PC のカメラにて別々に撮影したため，動画のフレームレートは 16–30Hz のようにばらつきがある．次項で述べる相互相関の計算のために，視聴動画についてはヨー，ピッチ，ロールを抽出後の時系列データに対して 3 次スプライン関数を用いてリサンプリングを行い，説明動画と同じ 24Hz に周波数を合わせた．

2. 3. 3　同期の検出

同期の度合として既存研究[23]と同様に相互相関を用いた．すなわち姿勢をオイラー角（ヨー，ピッチ，ロール）で表し，それぞれに対応する説明動画の変量を $x(t)$，参加者の変量を $y(t)$ とすると，相互相関は式(1)であらわされる．

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{(N_t - 1)} \sum_{t=1}^{N_t - \tau} \frac{(x(t+\tau) - \bar{x})(y(t) - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} \tag{1}$$

N_t は時系列データの長さ（おおよそ 4,320（180 秒×24Hz））を，$\bar{x}$，$\bar{y}$ はトレンドを，σ_x と σ_y はそれぞれトレンド除去後の標準偏差を表す．データの平滑化は Savitzky-Golay フィルター[24]を用いて window 幅：241（10 秒間），次数：2 として計算した．

2. 4　相手の状態推定（瞬目の同期）

ビデオ視聴時の参加者の顔動画を基に瞬目を検出し，その後，話し手（ビデオの中の発話者）と参加者の瞬目の同期を計算した．本節では瞬目検出と同期算出手法について説明する．

2. 4. 1　瞬目検出

瞬目は，ビデオから検出した 3 次元のランドマークを基に算出する個人最適化された Eye Aspect Ratio（EAR）を用いて検出する[25]．3 次元のランドマークは Google-MediaPipe[20]を用いて検出する．目の周辺は 16 点のランドマークで構成されている（図 5（A））．算出されたランドマークの各点を基に，EAR を Kraft et al.[26]が考案した式(2)にて算出する．両目それぞれで EAR を計算し，二つの平均値を用いる．目が閉じた状態では，EAR はゼロに近づき，開いている状態では 1 に近づく．

$$EAR \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\left\|P3 - P13\right\|_3 + \left\|P4 - P12\right\|_3 + \left\|P5 - P11\right\|_3}{3 \cdot \left\|P0 - P8\right\|_3} \tag{2}$$

目が閉じている時の EAR を式(3)，目が開いている時の EAR を式(4)で定義する．瞬目の有無を判別する閾値として，Personalized EAR を式(5)で定義する．

$$EAR_{Closed} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{min\left(\left\|P3 - P13\right\|_3\right) + min\left(\left\|P4 - P12\right\|_3\right) + min\left(\left\|P5 - P11\right\|_3\right)}{3 \cdot max\left(\left\|P0 - P8\right\|_3\right)} \tag{3}$$

$$EAR_{Open} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{mean\left(\left\|P3 - P13\right\|_3\right) + mean\left(\left\|P4 - P12\right\|_3\right) + mean\left(\left\|P5 - P11\right\|_3\right)}{3 \cdot min\left(\left\|P0 - P8\right\|_3\right)} \tag{4}$$

$$Personalized\ EAR_{Threshold} \stackrel{\text{def}}{=} \left(EAR_{Open} - EAR_{Closed}\right) / 2 \tag{5}$$

その後，ピークを計算して瞬目の直前のピークを瞬目開始点と定義する（図5（B））．

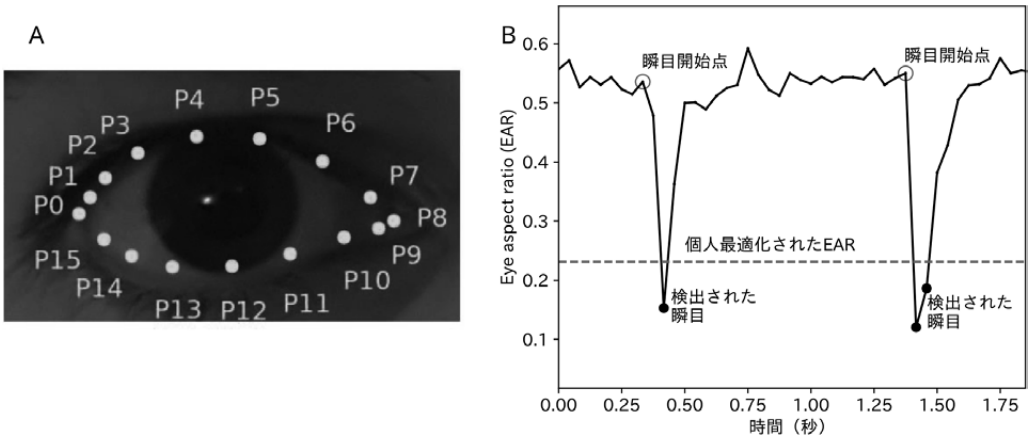

図5　(A) 目の周辺の16個のランドマーク位置，(B) EARを用いた瞬目検出の例

2.4.2　瞬目同期

瞬目同期はNakano and Miyazaki[12]によって開発された手法を用いて計算した．開発手法では，ペアを作りテストとリファレンスに分けられ，両者の瞬目開始点の差分（リファレンスからテストを引いた差分）を計算する．計算した瞬目開始点の差分を基に±2.4秒（ビンの幅：0.6秒）の範囲内でヒストグラムを作成することで，同期度合（以降，同期度）を算出した．その際に，ヒストグラムの値をZスコア化した．Zスコア化では，瞬目と瞬目の間隔を保ったまま，テストの瞬目開始点をランダムにシャッフルした1,000個のサロゲートデータを用いて実施した．Zスコアが正であれば，発生確率がランダム確率よりも高いことを示す．

話し手（ビデオ）と聞き手（参加者）の間の瞬目同期の計算において，話し手をテストに，聞き手をリファレンスとした．聞き手の瞬目は，話し手の瞬目から数百ミリ秒遅れて同期することが報告されているため[12], [27]，0.6秒（0.3–0.9秒）におけるZスコアを聞き手の瞬目同期とした．

3.　調査結果

質問票調査の結果からグラフィックレコーディングとグラフィック描画プログラムの効果について確認した．頭部振動や瞬目についてはそれぞれの同期度と共感，支援，理解の項目について関連があることが分かった．

3.1　対話内容の可視化

実験への参加者は22名であったが，計3回のアイデア発散ゲーム全てで無回答の参加者3名のデータを除外し，19名のデータを分析対象とした．参加者の年代と性別の内訳は，20代女性4名，30代男性1名，30代女性5名，40代男性4名，40代女性2名，50代男性2名，50代女性1名である．

3. 1. 1　質問票調査の結果（理解度，興味度，共感度）

質問票調査の理解度，興味度，共感度の主観評価回答について平均値を計算し，「描画あり（プログラム）」および「描画あり（レコーダー）」と「描画なし（口頭説明）」との間で t 検定を実施した．対話内容の可視化においては支援度の分析は行わなかった．

その結果，理解度，興味度，共感度で「描画あり（レコーダー）」と「描画なし（口頭説明）」との間で有意差が確認できた（理解度：$t_{17} = 3.77$, $p < 0.01$，興味度：$t_{17} = 3.62$, $p < 0.01$，共感度：$t_{17} = 2.28$, $p < 0.05$）．また，理解度において「描画あり（プログラム）」と「描画なし（口頭説明）」について片側 t 検定を実施した結果，$t_{17} = 1.59$, $p = 0.065$ という結果が得られた．理解度，興味度，共感度の箱ひげ図を図 6 に示す．

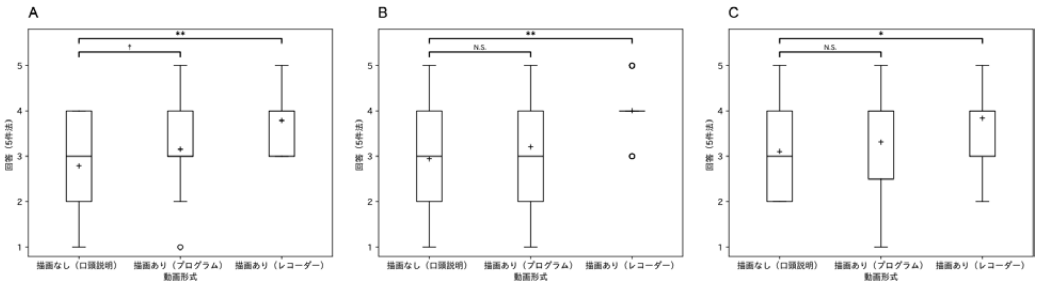

図 6　箱ひげ図，（A）理解度，（B）興味度，（C）共感度（† : $p < .1$，＊ : $p < .05$，＊＊ : $p < .01$）

3. 2　相手の状態推定（体動）

検出した相互相関について全参加者の平均的な相互相関を算出した結果と同期の遅れについて説明する．次に個別の同期度を定義して，この同期度と質問票調査との関連について記述する．

3. 2. 1　同期の検出

説明動画と参加者の動画について -1 ～ 1 秒の間のヨー，ロール，ピッチの相互相関の全参加者の平均を図 7（A）に示す．遅延時間が正の場合に参加者が発話者に対して遅れ，負の場合に先行していることを意味している．既存研究によれば同期は -1 ～ 1 秒で発生しているので，この時間で相互相関により同期を評価した．相互相関が正のピークにおいては，参加者の同期時間の遅れはヨー：0.54 秒となり，既存研究[23]（0.45 秒）とほぼ一致した．またピッチ：-0.21 秒，ロール：-0.85 秒であり，参加者が発話者に対して先行している．一方向のコミュニケーションにおいては，受け手の体動が送り手に対して遅れて同期することが報告されている[23]ため，本実験においても参加者は発話者に対して遅れて同期すると想定される．合わせて，ピッチとロールにおいてはヨーと比較してピークが顕著にみられないため，同期していないと考えられる．ロールにおいては相互相関が負のピークがみられるものの，同様にピークが顕著にはみられないため同期していないと考えられる．そのため，以後はヨーの同期について考察する．

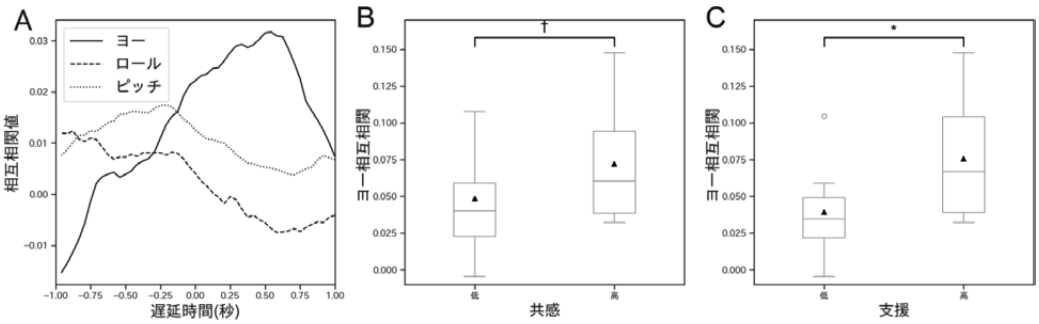

図 7　頭部振動の相互相関，（A）頭部姿勢の全参加者の相互相関の平均，（B）ヨー相互相関と共感の関係，（C）ヨー相互相関と支援の関係（†：$p < .1$，＊：$p < .05$）

3. 2. 2　同期と共感

参加者の同期度を以下の方法で定義した．ヨーの相互相関のピーク値をとる遅延時間について平均 m と標準偏差 σ を算出し（m－2σ，m＋2σ）を相互相関のうち同期が起こっている遅延時間の区間とする．この区間について参加者別に相互相関の最大値を算出し，それを同期度とした．最大値はピークと一致する場合が多いが，区間の端の値である場合もある．

参加者を質問票調査の理解度，興味度，共感度，支援度の主観評価回答に応じて，高と低の 2 グループに分け，同期度を比較した．2 以下と回答した参加者を低に，3 以上と回答した参加者を高とした．その結果，共感度においては 2 以下（低；9 名）と 3 以上（高；13 名）の群に分けられ，片側 t 検定を行った結果，有意差はなかったものの有意傾向が得られた（$t_{20} = 1.52$, $p = 0.071$）（図 7（B））．支援においては 2 以下（低；8 名）と 3 以上の群（高；14 名）に分けて片側 t 検定を行った結果，2 群の間に有意な差が得られた（$t_{20} = 2.36$, $p = 0.014$）（図 7（C））．共感や支援が高い場合に，ヨーが同期する傾向にあることがわかった．一方，理解度と興味度については有意な差は見られなかった（理解度：$t_{20} = 0.445$, $p = 0.33$；共感度：$t_{20} = 1.12$, $p = 0.14$）．

3. 3　相手の状態推定（瞬目同期）

話し手と聞き手の瞬目同期の平均値を図 8（A）に示す．瞬目開始点の時間差分が正の場合には，聞き手が遅れており，負の場合には先行している．0.6 秒（0.3–0.9 秒）に顕著なピークが発生しており，聞き手は話し手から 0.3–0.9 秒遅れて同期していた．この結果は，既存研究[12]と同様である．

参加者を質問票調査の理解度，興味度，共感度，支援度の主観評価回答に応じて，高と低の 2 グループに分け，瞬目同期を比較した．2 以下と回答した参加者を低に，3 以上と回答した参加者を高とした．その結果，理解度が高いグループは，低いグループと比較して有意に瞬目同期が高かった（図 8（B），$t_{20} = 2.01$, $p < 0.05$）．一方，興味度，共感度及び支援度においては，瞬目同期に有意な差は得られなかった（興味度：$t_{20} = 0.15$, $p = 0.44$；共感度：$t_{20} = 0.28$, $p = 0.39$；支援度：$t_{20} = 0.37$, $p = 0.36$）．したがって，理解度が高い人は，低い人と比べて瞬目が同期する傾向にあることがわかった．

さらに，理解度が低い参加者は 1.8 秒（1.5–2.1 秒）にピークが発生しており，理解度が高い参加者より遅れて同期している可能性がある．

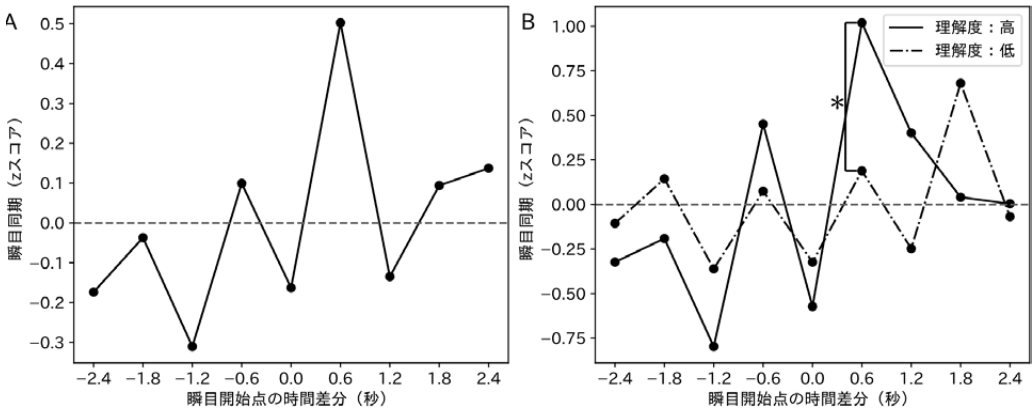

図 8　聞き手と話し手の瞬目同期，（A）全参加者での瞬目同期の平均値，
（B）理解度でグループ分けした瞬目同期の平均値（*：p＜.05）

4.　考察

3 章の調査結果を基に，対話内容の可視化，相手の状態推移についての考察を述べる．

4. 1　対話内容の可視化

質問票調査の回答の分析結果から，レコーダーによりリアルタイムに描画されたグラフィックレコードは，一方向のコミュニケーションにおける理解度，興味度，共感度を向上させる効果があることが確認できた．また，グラフィック描画プログラムによるリアルタイムでの描画は理解度の向上に寄与する可能性が示唆されたが，プログラムによる描画はレコーダーによる描画ほどの効果は確認できなかった．これは，グラフィック描画プログラムがグラフィックレコーディングの工程の一部分を自動化したものであるため，多くの機能が不足していることが原因であると考えている．グラフィックレコーディングの自動化に向けて，Listen-Think-Draw のそれぞれの工程について考察する．

4. 1. 1　グラフィックレコーディングの自動化についての考察

Listen の工程では，音声認識によりトランスクリプトを作成するが，誤認識，専門用語の認識の難しさといった課題があり，音声認識システムとしてこれらへの対応が求められる．また，口語では省略や代名詞の多用，文の区切りの不明確さ等があるため，照応解析等により文章を補完したり文の区切りを行ったりして次の Think の工程へ進める．

Think の工程では，重要なキーワードやフレーズの選定，重複情報の排除や要約，知識にない情報の収集と理解，物事の関係性の整理等を行うことで，重要な情報が重複なく抽出され，物事の関係性が整理される．この工程での処理の品質向上が，プログラムが描くグラフィックレコードの品質向上に繋がるため，知識情報の整備と知識情報処理機能の検討が不可欠である．

Draw の工程では，キーワードやフレーズからのグラフィックへの翻訳，類似イメージの想起，グラフィックの配置調整等を行う機能が欠かせない．グラフィック描画プログラムでは，名詞に対応するグラフィックを事前に用意し，文章中の名詞に対応する画像があった場合に描画する方法を採った．他にも，重要なキーワードやフレーズを人による指示やプログラムによる重要度判定で選定してから，知識ベースや概念辞書を用いて関連する情報を収集して描画に

利用するような方法や，生成 AI に描画内容を指示するプロンプトを与えてグラフィックを動的に生成する方法等が考えられる．

4. 1. 2　今後に向けて

視覚文法[28]の考え方を用いれば，グラフィックの精緻な形式化ができるようになり，より理解しやすい表現を提供できるだろう．今後は，効果的なグラフィックについて検討していく．

今回の実験では，発話者が説明する情報量とグラフィック描画プログラムの描画領域を限定したが，より情報量が多い対話の場面を想定すると，さらに大きな描画領域が求められる．そのため，表示インターフェースとして，仮想的なホワイトボードやウォールのような表示機能を検討しなければならない．また，話題の遷移を検出して，話題のまとまりの範囲や話題の流れを表現する方法も検討すべきである．そして，自動グラフィックレコーディング機能を多くの対話の場に提供するために，コミュニケーションツールが持っているような情報管理基盤等の整備も検討していく．

4. 2　相手の状態推定

体動と瞬目による，相手の状態推定についての考察を述べる．

4. 2. 1　体動による相手の状態推定

体動の実験結果から，ヨー方向では，参加者の頭部振動が発話者に対して遅れて同期した．一方，ロール，ピッチ方向の頭部振動の相互相関のピークはヨーよりもかなり小さいことから，同期していないと考えられる．既存研究[23]では垂直方向の体動の同期は見られないが，前後左右の体動は同期している．既存研究では体動の同期は立位で測定され，本実験では座位にて行われている．このため横方向への姿勢を変化させるロールは，ピッチやヨーよりも動きの程度が大きく，また座位は姿勢を元に戻す動きは少ない．それらはトレンドとして除去されているが，全体的な特徴として同期は観測しづらいと考えられる．また平均を取ると，動きの大きい参加者の影響が大きいため，動きの大きい参加者がうまく同期していない場合は，全体の同期の傾向がうまく捉えられないことも考えられる．

4. 2. 2　瞬目による相手の状態推定

瞬目の実験結果から，理解度の高い聞き手は話し手の瞬目に対して無意識に遅れて同期することが分かった．既存研究では，興味度に応じて瞬目が同期することが報告されていたが[12]，本実験では興味度においては瞬目同期に違いは見られなかったため，瞬目は状況に依存して異なる認知状態を反映している可能性がある．既存研究では，日常的な製品に対する説明を聞く状況であったのに対して，本実験は研究に対する説明を聞くため理解が求められる状況であった．そのため，理解が必要な状況においては，興味度ではなく理解度に応じて瞬目が同期する可能性があることが分かった．さらに，理解度が低い場合に，高い場合と比較して瞬目同期がより遅れており，理解度に応じて瞬目同期の遅れが変化する可能性が示唆された．瞬目同期は理解に要するタイムラグによって起こる可能性が報告されており[12]，理解度が低い聞き手は，より理解に時間がかかっていると考えられ，瞬目同期の遅れが理解度の指標として活用できる可能性があることが分かった．

4. 2. 3　今後に向けて

体動の同期においては支援や共感との相関が，瞬目の同期においては理解との相関がみられ，生体情報の同期を用いることで理解度，共感度及び支援度といった人の内的状態の推定ができることが分かった．しかし，体動と瞬目の同期共に，動画全体での同期度を評価しており，実際のコミュニケーションにリアルタイムでの活用は難しい．今後はより短い時間での同期度の計測や，リアルタイムでの同期度の算出手法の開発に取り組みたい．

5. お　わ　り　に

本研究では，コミュニケーションの円滑化に向けて，対話内容の可視化と相手の状態推定を試みた．対話内容についてはグラフィックレコーディングの一部を自動化することで可視化を行い，理解度の向上に寄与できる可能性が示唆された．相手の状態推定においては，生体情報の同期度を用いることで，理解度や共感度が推定できることが分かった．

本研究の成果を用いることで，コミュニケーションでの理解/共感を促進できる可能性が示唆されたものの，実際の状況で使用する上では課題が残っている．対話内容の可視化においては事前に用意した原稿を基に描画を行っており，グラフィックレコーディングの自動化に向けては音声認識技術の導入が必要である．また，考察で述べたような検討すべき課題がある．相手の状態推定においては，動画全体での同期度を計算しており，リアルタイムでの推定は困難である．今後は，実際のコミュニケーションでの適用を見据えて，リアルタイムでの対話内容の可視化や状態推定を目指す．

＊ 1　世界医師会で採択されたヒトを対象とする医学研究の倫理的原則．

参考文献
［1］ 小川一美，“対人コミュニケーションに関する実験的研究の動向と課題，”教育心理学年報，vol. 50, pp. 187–198, 2011, doi: 10.5926/arepj.50.187.
［2］ F. Fukuyama, *Trust: The Social Virtues and the Creation of Prosperity*. Free Press, 1995.
［3］ 佐々木宏，鈴木秀一，and S. T. DAVIS，“ビジネス・エコシステムと信頼，”日本情報経営学会誌，vol. 39, no. 2, pp. 75–84, 2019, doi: 10.20627/jsim.39.2_75.
［4］ F. Derksen, J. Bensing, and A. Lagro-Janssen, “Effectiveness of empathy in general practice: a systematic review,” *Br. J. Gen. Pract.*, vol. 63, no. 606, p. e76 LP-e84, Jan. 2013, doi: 10.3399/bjgp13X660814.
［5］ N. J. Goldstein, I. S. Vezich, and J. R. Shapiro, “Perceived perspective taking: When others walk in our shoes.,” 2014, *American Psychological Association, Goldstein, Noah J.: 110 Westwood Plaza, Suite A-412, Los Angeles, CA, US, 90095, noah.goldstein@anderson.ucla.edu.* doi: 10.1037/a0036395.
［6］ C. Y. Nicholson, L. D. Compeau, and R. Sethi, “The role of interpersonal liking in building trust in long-term channel relationships,” *J. Acad. Mark. Sci.*, vol. 29, no. 1, pp. 3–15, 2001, doi: 10.1177/0092070301291001.
［7］ W. Rahman, “Empathy and trust: Into a better workplace environment,” *J. Bus. Econ.*, vol. 7, no. 12, pp. 2025–2034, 2016.
［8］ 安武伸朗，“デザイン思考におけるレコーディングの効果についての考察，”常葉大学造形学部紀要，no. 13, pp. 19–23, 2015.
［9］ 石井陽子，中谷桃子，渡辺昌洋，“共創的な対話におけるグラフィックレコーディングの効果，”ヒューマンインタフェース学会論文誌，vol. 24, no. 1, pp. 37–52, 2022, doi: 10.11184/his.24.1_37.

[10] R. Hari and M. V Kujala, "Brain Basis of Human Social Interaction: From Concepts to Brain Imaging," *Physiol. Rev.*, vol. 89, no. 2, pp. 453–479, Apr. 2009, doi: 10.1152/physrev.00041.2007.
[11] D. N. Saito *et al.*, "'Stay Tuned': Inter-Individual Neural Synchronization During Mutual Gaze and Joint Attention," *Front. Integr. Neurosci.*, vol. 4, 2010, doi: 10.3389/fnint.2010.00127.
[12] T. Nakano and Y. Miyazaki, "Blink synchronization is an indicator of interest while viewing videos," *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 135, pp. 1–11, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.10.012
[13] T. Yokozuka, E. Ono, Y. Inoue, K.-I. Ogawa, and Y. Miyake, "The Relationship Between Head Motion Synchronization and Empathy in Unidirectional Face-to-Face Communication," *Front. Psychol.*, vol. 9, 2018, doi: 10.3389/fpsyg.2018.01622.
[14] P. Pérez et al., "Conscious processing of narrative stimuli synchronizes heart rate between individuals," *Cell Rep.*, vol. 36, no. 11, p. 109692, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.celrep.2021.109692
[15] 鈴木雄大, "他者からの視点取得の表明に関する心理学的検討," 2022.
[16] M. Enomoto, K. Saito, H. Zenio, T. Hoshino, and E. Takahashi, "The relationship between empathy and head motion synchronization of presenter and viewer while viewing explanatory video," *Proc. Annu. Conf. JSAI*, vol. JSAI2025, 2025.
[17] H. Zenio, K. Saito, M. Enomoto, T. Hoshino, and E. Takahashi, "Consideration towards automatic graphic recording," *Proc. Annu. Conf. JSAI*, vol. JSAI2025, 2025.
[18] K. Saito, M. Enomoto, H. Zenio, T. Hoshino, and E. Takahashi, "Relationship between comprehension and blink synchronization," in *The 47th Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci2025)*, 2025.
[19] J. P. Guilford, *The nature of human intelligence*. New York, USA: McGraw-Hill, 1967.
[20] C. Lugaresi *et al.*, "MediaPipe: A¦ Framework for Building Perception Pipelines," *CoRR*, vol. abs/1906.0, 2019, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1906.08172
[21] G. Bradski, *The Opencv Library*, vol. 25. 2000.
[22] E. Candeloro, "Real Time Driver State Detection," 2024. [Online]. Available: https://github.com/e-candeloro/Driver-State-Detection
[23] S. Okazaki *et al.*, "Unintentional Interpersonal Synchronization Represented as a Reciprocal Visuo-Postural Feedback System: A Multivariate Autoregressive Modeling Approach," *PLoS One*, vol. 10, no. 9, p. e0137126, Sep. 2015, [Online]. Available: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137126
[24] A. Savitzky and M. J. E. Golay, "Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures.," *Anal. Chem.*, vol. 36, no. 8, pp. 1627–1639, 1964, doi: 10.1021/ac60214a047.
[25] K. Saito, "Eye blink detection using personalized eye aspect ratio based on 3D landmark," *Proc. Annu. Conf. JSAI*, vol. JSAI2024, pp. 4I3GS702-4I3GS702, 2024, doi: 10.11517/pjsai.JSAI2024.0_4I3GS702.
[26] D. Kraft, F. Hartmann, and G. Bieber, "Camera-Based Blink Detection Using 3D-Landmarks," in *Proceedings of the 7th International Workshop on Sensor-Based Activity Recognition and Artificial Intelligence*, in iWOAR '22. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023. doi: 10.1145/3558884.3558890.
[27] T. Nakano and S. Kitazawa, "Eyeblink entrainment at breakpoints of speech," *Exp. Brain Res.*, vol. 205, no. 4, pp. 577–581, 2010, doi: 10.1007/s00221-010-2387-z.
[28] 清水淳子, "グラフィックレコーディング習得のために必要な視覚文法," 日本デザイン学会研究発表大会概要集, vol. 64, p. 100, 2017, doi: 10.11247/jssd.64.0_100.

※　上記参考文献に示した URL のリンク先は，2025 年 7 月 14 日時点での存在を確認.

執筆者紹介　斉　藤　功　樹（Koki Saito）

2009年日本ユニシス(株)入社．金融機関向けのバックシステムの開発・保守を担当．2013年に総合技術研究所に異動．大規模データ処理技術，衛星画像のデータ処理・データ分析，視線情報を用いた文章読解に関する研究に従事し，現在は生体情報を用いたコミュニケーション支援研究に従事．博士（知識科学）．

榎　本　　真（Makoto Enomoto）

1994年日本ユニシス(株)入社．客先システム開発，金融機関向けパッケージ開発等に従事した後，データマイニング製品の開発・適用とそれを利用したデータ分析等に取り組む．2020年より総合技術研究所にてAI技術を利用した社会課題の解決や生体情報を用いたコミュニケーション支援の研究に従事．

銭　尾　春　仁（Haruhito Zenio）

1989年日本ユニシス(株)入社．技術主管部門でOSリリース，特殊機器接続等の業務に従事した後，ヘルプデスクシステム開発，米国製CRMパッケージの国内リリース，情報システム部門で自社コールセンターシステム構築業務に携わる．その後，金融部門でミドルウエア製品商品主管，技術コンサルティング業務，商品企画部門でビッグデータ，AI技術関連の企画業務に携わり，2022年より総合技術研究所にて，天空光源シミュレーション，自然言語処理の研究に従事．

カーボンニュートラルの達成に向けた非化石証書の活用と環境価値管理サービス「Re:lvis」の提案

Proposing the Use of Non-fossil Certificates and the Environmental Value Management Service “Re:lvis” to Achieve Carbon Neutrality

今 井 諒 太

要 約 日本では，カーボンニュートラルの達成に向けて，化石エネルギーからの脱却と温室効果ガスの削減，経済成長を両立させるGX（グリーントランスフォーメーション）が進行中である．設備やコストの観点から短期間での対応が難しいため，まずは非化石証書を取得し，自社の電力が非化石電源から供給されていることを証明することが重要である．しかし，非化石証書の管理は複雑であり，担当者の負荷の増加や属人化などの課題が散見されている．

BIPROGYは，非化石証書の調達や割当のための情報管理をデジタル化し，効率化を図る「Re:lvis」という環境価値管理サービスを提供し，企業がカーボンニュートラルを達成するためのサポートをしている．非化石証書を利用する企業やこれから利用を検討している企業に，Re:lvisの利用を広げることで，非化石証書の利用をさらに活性化し，カーボンニュートラルを達成する企業が増えることを目指す．

Abstract In Japan, GX (Green Transformation) is underway to achieve carbon neutrality, which is a process of moving away from fossil energy and reducing greenhouse gases, while achieving economic growth at the same time. Since it is difficult to achieve this goal in a short period of time from the viewpoints of equipment and cost, it is important to first obtain non-fossil certificates to prove that their electricity is supplied from non-fossil power sources. However, the management of non-fossil certificates is complicated, and there are many problems such as increased workloads and personalization of the person in charge.

BIPROGY provides an environmental value management service called “Re:lvis” that digitizes and streamlines the management of information required for procurement and allocation of non-fossil certificates, and supports enterprises in achieving carbon neutrality. By expanding the use of Re:lvis to companies that currently use Non-Fossil Certificates or are considering using them, we aim to further stimulate the use of Non-Fossil Certificates and increase the number of companies that achieve carbon neutrality.

1. はじめに

2020年10月，日本政府は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを目指すことを宣言した．この取り組みは日本だけでなく世界中で進められており，現在120カ国以上の国と地域が「2050年カーボンニュートラル」という目標を掲げている．

カーボンニュートラルを達成するには，国や自治体，企業，そして個人が「温室効果ガスの排出量増加」を共通の課題として認識するべきであり，将来の世代も安心して暮らせる持続可能な経済社会をつくるために，カーボンニュートラルの達成は必要不可欠な取り組みである．

本稿では，企業のカーボンニュートラルの達成における課題解決のために BIPROGY 株式会社（以降，BIPROGY）が提供している，環境価値管理サービス Re:lvis（以降，Re:lvis（リルビスと読む））について論じる．2 章では，カーボンニュートラルと企業活動との関係性について説明し，3 章では，企業がカーボンニュートラルの達成において活用が求められる非化石証書の概要について紹介する．4 章では非化石証書の管理業務を効率化することを目的としたサービスである Re:lvis について紹介し，5 章で Re:lvis の今後の展望について述べる．

2. カーボンニュートラルの達成に向けた企業の取り組み

本章では，カーボンニュートラルの概要と脱炭素化が加速している背景について説明し，企業活動に与える影響について述べる．

2.1 カーボンニュートラルとは

近年では，世界各地で大雨・洪水・異常高温など，さまざまな気象問題が発生しており，自然や人に対して広範囲におよぶ悪影響と，それに関連した損失や損害が引き起こされている．その原因の一つは，人間の活動にともなう温室効果ガス排出量の増加であると考えられる．気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 6 次評価報告書[1]では，「人間活動が主に温室効果ガスの排出を通して地球温暖化を引き起こしてきたことには疑う余地がなく，工業化以前の 1850 年～ 1900 年を基準とした世界平均気温は，2011 年～ 2020 年に 1.1 度の温暖化に達した.」と言及されている．

この先の数十年間で温室効果ガス排出量が大幅に減少しない限り，世界の平均気温は，工業化以前と比べて 21 世紀中に 1.5 度～ 2 度上昇すると予測されており，温室効果ガス排出量を削減することは必要不可欠である．

このように世界的な重要課題として気候変動への対応の機運が高まるなか，2015 年に開催された第 21 回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）でパリ協定が採択された．パリ協定では「世界の平均気温上昇を産業革命以前と比べて 2 度より十分低く保ち，1.5 度以内に抑える努力をする」という世界共通の長期目標[2]が掲げられた．その後，2021 年開催の COP26 では，パリ協定で努力目標とされた 1.5 度が，事実上の目標に格上げされている[3]．

そのような背景から，温室効果ガスの排出をゼロにすることが求められるが，現在の技術や社会構造の制約により，温室効果ガスの排出を完全にゼロに抑えることは現実的ではない．そのため，排出せざるを得なかった排出量と同量の温室効果ガスを「吸収」または「除去」することで，差し引きゼロにするカーボンニュートラルの重要性が高まっている（図 1）[4]．

2021 年 4 月までに 125 カ国・1 地域が 2050 年までのカーボンニュートラルの達成を表明した．2021 年時点で最大の排出国であった中国も，2060 年までにカーボンニュートラルを達成することを 2020 年 9 月の国連総会で表明している[5]．

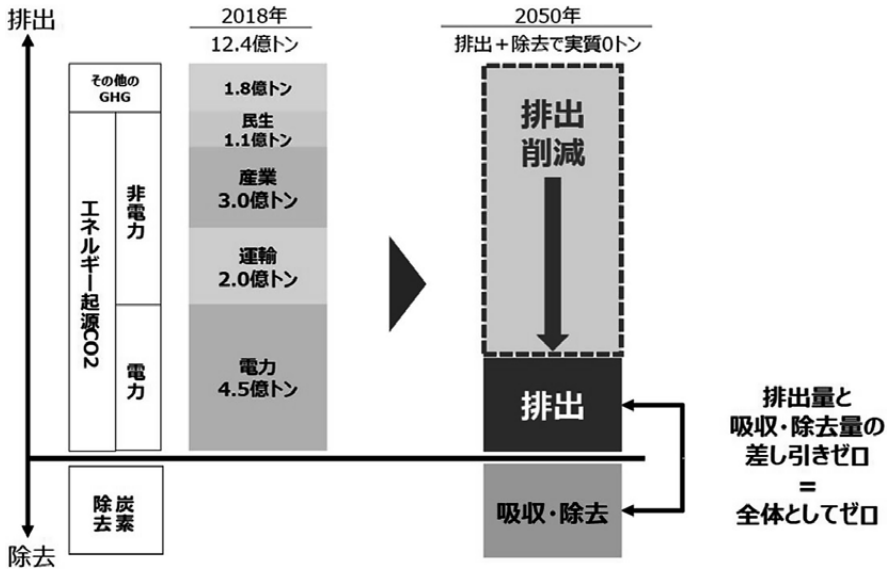

図1　カーボンニュートラルの考え方

2.2　GX（グリーントランスフォーメーション）とは

カーボンニュートラルの達成に向けた取り組みの一つにGXがある．GXとはグリーントランスフォーメーション（Green Transformation）の略称である．温室効果ガスの排出量を削減するためには，化石燃料に頼らず太陽光や水素など自然環境に負荷の少ないエネルギーの活用を進めることが重要である．そうした活動を経済成長の機会にするために世の中全体を変革する取り組みがGXである[6]．

日本の産業構造は製造業が多く，工場では減価償却に20年～30年もかかるため，脱炭素化への移行には長い時間を要する．例えば，「炭素税」に代表されるようなカーボン排出量の規制を厳しく設定すると，企業の負担が大きくなり，経済成長を阻害する可能性がある．そのため，政府は省エネ法[*1]の改正やGX推進法[*2]を通じて，化石燃料を用いた火力発電の合理化（省エネ）を企業に課し，段階的な再生可能エネルギーへの移行を促している．また，「成長志向型カーボンプライシング構想」[*3]を実行することで，カーボンニュートラルと経済成長を両立しようとしている．現在，日本では経済産業省主導のもと，社会経済システム全体の変革をポジティブに捉え，カーボンニュートラルと経済成長の両立を目指している．

2.3　企業における取り組み

世界に目を向けると，2015年のパリ協定を契機に気候変動対策の開示義務化が進展している．日本では省エネ法が改正され，エネルギー使用の報告や非化石エネルギー転換の計画提出が義務化されているため，脱炭素に消極的な企業は経営リスクを抱える．そのような中でGXへの取り組みに投資家の関心も高まり，再生可能エネルギーへの注目が増加し，ESG債[*4]を発行することが企業の認知度向上に繋がるようになった．また，消費者も環境に配慮した企業を選ぶ傾向が強まっている．企業は，気候変動対策をビジネスチャンスと捉えるべきである．

GXの推進にあたり最初に取り組むべきは，温室効果ガス排出量の見える化である．そのためには，デジタル技術を活用したカーボン排出量の管理や情報の可視化が有効である．

温室効果ガス排出量を見える化した後は，実際に排出量削減目標を設定し対策を実行していく．排出量を削減する中で，温室効果ガス排出量全体に占めるエネルギー分野の排出量の割合が８割を超えている[7]ことから，企業がGXを推進するにあたりエネルギー分野，特に電気に関する温室効果ガスの排出量をゼロに近づけることは重要な意味を持つ．

エネルギー分野の排出量削減のためには，電源を再エネ電源に切り替えていくような創エネを行うことが大前提となる．しかし，再エネ電源の設置場所や設置費用の確保，設置に係るリードタイムなど，コスト面や環境面での制約が発生しやすく，即時に対応することが難しい．そこで，環境価値を調達して，使用する電気が再生可能エネルギーや非化石由来であることを証明し，排出量を削減することから始めることが重要である．

3.　非化石証書による環境価値の取引

本章では，使用するエネルギーが再生可能エネルギーや非化石由来であることを証明する手段である環境価値に関する証書制度の概要と，電気に関する環境価値の証書制度の一つである非化石証書について説明する．

3.1　環境価値を取引する証書制度

環境価値は，再生可能エネルギーや非化石由来のエネルギーが持つ価値に含まれている．例えば，再生可能エネルギーにより発電された電気には，動力源としての電気そのものの価値と環境負荷が低いことを意味する付加価値としての環境価値が含まれる．

環境価値を見える化することで取引や管理を実現し，環境価値を活用することで使用するエネルギーのCO_2排出量を実質ゼロとみなすことができるようにした制度が，環境価値の証書制度である．国際的な証書制度としては，欧州のGO，北米のRECsなどが存在しており，日本においては，政府が管理する非化石証書やＪ－クレジット，民間事業者が管理するグリーン電力・熱証書が存在している（図2）[8]．

項目	GO	RECs	I-REC	非化石証書 FIT証書	非化石証書 非FIT証書 （再エネ指定）	グリーン 電力証書	グリーン熱 証書	J-クレジット （再エネ）
発行主体	指定機関（Issuing Body）	各地域のトラッキングシステム運営者	各国・地域で１組織	電力広域的運営推進機関 ※国が認証	発電事業者 ※国が認証	証書発行事業者 ※第三者認証	証書発行事業者 ※第三者認証	経済産業省・環境省・農林水産省
価値	再エネ	再エネ	再エネ	再エネ	再エネ	再エネ	再エネ	温室効果ガス排出量の削減
購入者	誰でも購入可能	誰でも購入可能	誰でも購入可能	電力小売・仲介事業者・最終需要家	電力小売（一部相対のみ最終需要家）	最終需要家	最終需要家	電力小売・仲介事業者・最終需要家
取引方法	相対取引、一部入札販売	相対取引	相対取引	入札販売・仲介事業者との相対取引	相対取引・入札販売	相対取引	相対取引	相対取引・入札販売
発行量 認証量	約10億MWh（2023年）	約2.7億MWh※1 約3.5億MWh※2	約2.8億MWh（2023年）	約1,221億kWh（2022年度）	約1,015億kWh（2022年度）	約8.6億kWh（2022年度）	約3,497百万MJ（累計値）	約9.4億kWh（2022年度）
用途	再エネ価値の主張	再エネ価値の主張・RPS制度の義務履行	再エネ価値の主張	SHK制度でのCO2削減利用	高度化法非化石比率の算定・SHK制度でのCO2削減利用	SHK制度でのCO2削減利用（国が認証したものに限る）	SHK制度でのCO2削減利用（国が認証したものに限る）	SHK制度でのCO2削減利用

※1：ボランタリーRECs（2022年）
※2：コンプライアンスRECs（2022年）
※3：国内クレジット・J-VER含む

図２　再エネ電力・熱に関する証書・クレジット

3. 2　非化石証書の概要

非化石証書は，非化石電源によって CO_2 を排出せずに発電されたという環境価値を証書化し，取引できるようにしたものである．

非化石証書の制度は，企業のクリーンエネルギー利用の推進を目的に 2018 年 5 月から導入され，一般社団法人日本卸電力取引所（以降，JEPX）にある非化石価値取引市場において，小売電気事業者向けに取引がスタートした．2021 年 11 月より，需要家による証書の直接調達，および民間事業者による仲介事業ができるようになった．これにより，需要家は自ら自社およびグループ企業で使用する電気の由来が再生可能エネルギーであると証明できるようになった．資源エネルギー庁において，グローバルなルールやイニシアティブへの対応，需要家からのニーズへの対応が検討されており，今後も非化石証書の流通はより一層加速していくと考えられる．

3. 3　非化石証書の利用における課題

企業や自治体は，以下の流れに沿って非化石証書を発行する．

1）JEPX 会員となって口座を開設する．

2）年 4 回のオークションで非化石価値を入札，もしくは，発電事業者と直接取引を行い，非化石価値を調達する．

3）使用先毎に非化石価値を割り当てて非化石証書を発行する[*5]．

発行された非化石証書のサンプルイメージを図 3[9] に示す．

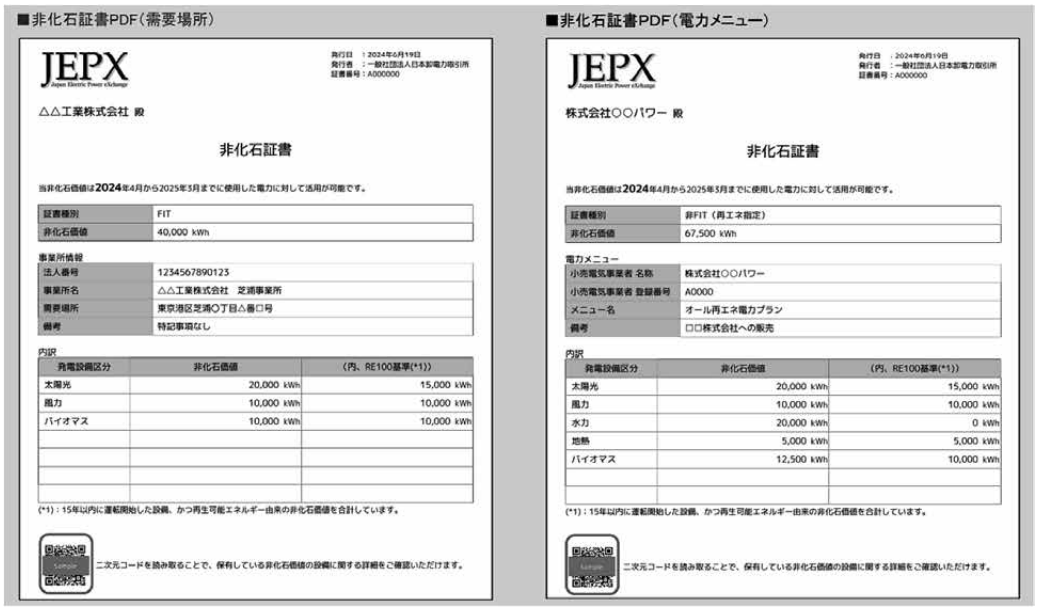

図 3　非化石証書のサンプル

小売電気事業者や需要家，仲介事業者は，非化石証書を入手してから利用するまでの間，複数の情報を管理しなければならない．例えば，各オークションにおける購入量の算出，希望に沿った非化石価値の調達，調達した非化石価値の割当などである．現状，非化石証書を利用す

るまでの情報管理は手作業で実施されているケースがほとんどである．手作業で実施するため，取引量や割当先の増加に伴い，情報管理の負荷の増加や，人的ミスの誘発，業務の属人化，内部統制の欠如といった課題が出てくることが想定される．

この課題を解決するためには，非化石証書の取り扱いに関するプロセスに則って情報を管理して，一元的に集約できるようなツールが不可欠である．BIPROGY は，経済産業省エネルギー庁の委託を受けて，非化石電源の認定業務を実施してきており，その経験を活かして，環境価値管理サービス「Re:lvis」を提供している．

4. 環境価値管理サービス「Re:lvis」

Re:lvis は，BIPROGY が非化石証書を直接市場から調達する事業者向けに提供するクラウドサービスである．非化石証書の購入に関わる情報を一元的に集約して，購入量の把握から調達，割当までワンストップで実施することで，業務の効率化を図ることができる．また，Re:lvis は，割当先となる需要家に向けてポータル機能を提供し，購入希望内容の入力や割当結果の参照ができるようにしている．本章では，Re:lvis の概要と，提供する機能の特徴について紹介する．

4. 1 Re:lvis の機能の概要

Re:lvis のユーザーは，自社やグループ会社が使用する電力が再生可能エネルギー由来であることを証明したい需要家や，需要家の代わりに非化石証書を調達して提供する仲介事業者，再生可能エネルギー由来の電力供給メニューを持つ小売電気事業者である．Re:lvis は，各事業者が現状手作業で行っている非化石証書の管理業務をデジタル化することで，非化石証書の購入量の把握から調達，割当の効率化をサポートする．

Re:lvis では，非化石証書を利用するために，調達～入札～割当を実現する「調達のベース機能」に加えて，購入量管理機能，小売電気事業者向け機能と呼ばれる 2 種類のオプション機能を提供している（図 4）[10]．

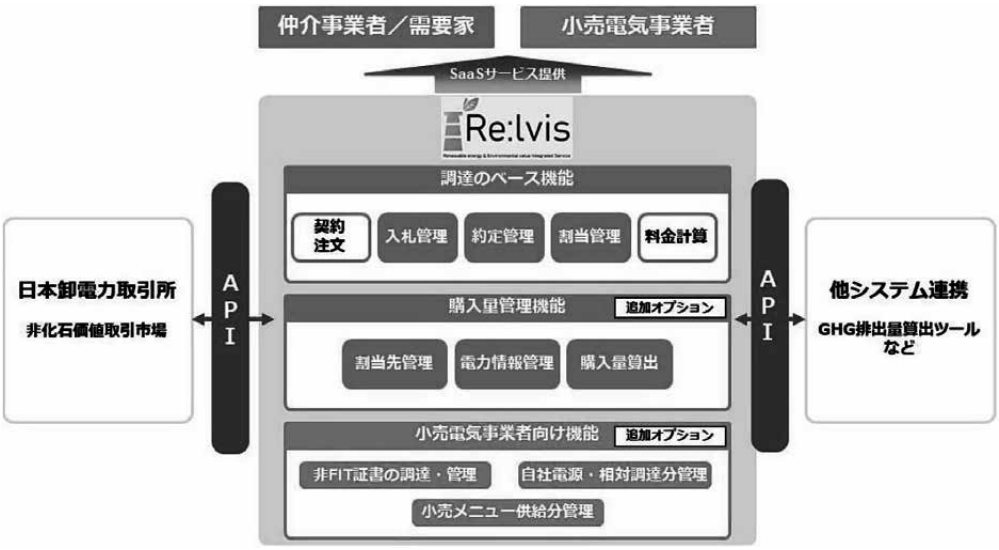

図 4　Re:lvis の機能イメージ

Re:lvis は JEPX と直接連携しており，入札や非化石証書の発行などは Re:lvis で登録された情報を基に自動で連携される．また，非化石価値の残高情報や，発行された非化石証書 PDF も，自動で Re:lvis に取り込まれるため，ユーザーは JEPX のシステムに個別にログインすることなく，非化石証書の調達から管理，割当までの一連の業務を Re:lvis 上で完結できる．このため，従来は手作業で煩雑だった情報管理や確認作業の負荷が大幅に軽減され，業務効率の向上とミスの削減が期待できる．

4. 2　調達のベース機能

Re:lvis の基本機能となる調達のベース機能は，主に仲介事業者や需要家が利用することを想定した機能である．Re:lvis の調達のベース機能は，購入代行という考え方に基づいて提供されている．初めに割当先となる契約情報を登録し，各契約に対してどの様な非化石価値をどれだけ調達しなければならないかといった情報を，注文情報としてオークション毎に登録し，Re:lvis に登録した情報をもとに JEPX へ入札を行う．最終的に調達してきた非化石価値を各割当先の希望に基づいて割当し，非化石証書を配布するという考え方を想定している．業務フローのイメージを図 5 に示す．

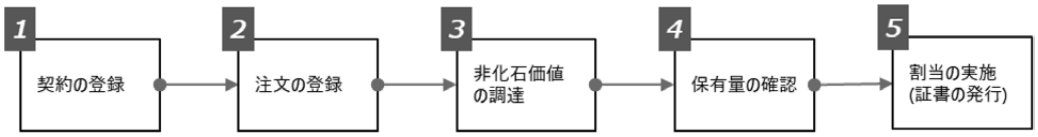

図 5　調達のベース機能の業務フローイメージ

次に，調達のベース機能の中で特に利便性の高い，非化石証書の発行予約機能と自動割当機能について説明する．

4. 2. 1　非化石証書の発行予約機能

JEPX のシステムでは非化石証書の発行操作を行うと，非化石証書 PDF が即時に作成され，以降は変更できない．Re:lvis を利用することで，非化石証書を発行するための割当情報を連携するタイミングが指定できるようになり，指定した予定日に非化石証書 PDF を発行すること（発行予約）ができる．発行予定日までは割当情報の変更や削除ができるため，発行予約を登録後，内容に誤りがないかどうかを確認することができる．また，発行予定日は割当先毎に登録できるため，契約者毎に非化石証書の発行タイミングが異なる場合でも容易に管理することができる．

4. 2. 2　自動割当機能

割当先となる拠点や契約者の数が数千件になることも想定されるため，1 件ずつ手作業で割り当てることは負荷が高い．そこで Re:lvis では，システムで決められたルールに従い，割当先毎の調達の希望内容に合致した内容で保有する非化石価値を自動で配分する自動割当機能を提供している．登録した割当情報は JEPX に連携するまでは変更できるため，自動割当した内容を確認して，状況に応じて修正することで，少ない労力で全割当先への割当を登録できる．

4. 3　購入量管理機能（追加オプション）

仲介事業者や需要家の中でも，事業者や拠点よりも細かい粒度で管理したい場合がある．例えば，ビルや商業施設などを管理し，施設に含まれるテナント毎に情報管理をできるようにしたいケースがある．そのようなケースに対応するため，Re:lvis は，購入量管理機能を提供している．業務フローは調達のベース機能に近いが，割当先の階層管理と再エネ目標管理ができる点が購入量管理機能の特徴である．業務フローのイメージを図 6 に示す．

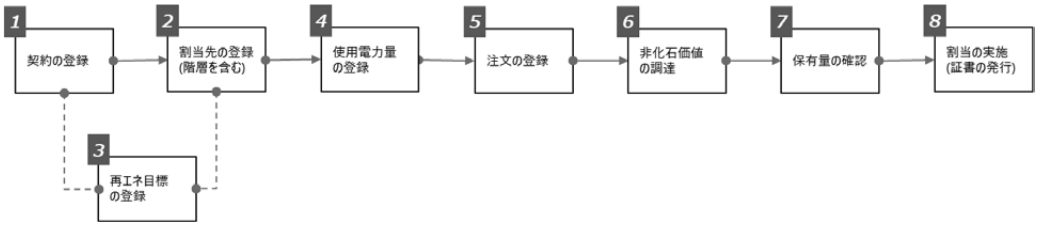

図 6　購入量管理機能の業務フローイメージ

4. 4　小売電気事業者向け機能（追加オプション）

小売電気事業者向け機能では，小売電気事業者が電力供給と一緒に非化石証書を発行して，契約者に供給している電力が，再生可能エネルギー由来の電力であることを証明する業務を想定して，情報管理を担う一連の機能を含んでいる．

割当先の情報として，再エネメニュー情報[*6]，供給先の契約情報，供給電力量を登録し，登録した情報を基に調達計画を策定する．その際，在庫やオークション外である相対取引で調達した非化石価値を加味したうえで，市場での調達量を算定できる．調達計画から自動生成された入札情報を JEPX に連携し，最終的に調達できた非化石価値を指定した供給期間の電力量に対して，需要家毎に再エネメニューの内容に沿った割当を行うことができる．業務フローのイメージを図 7 に示す．

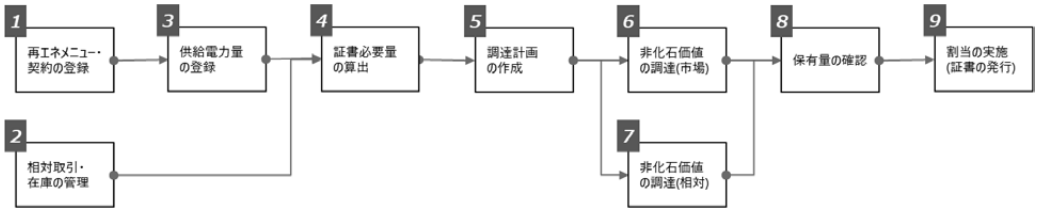

図 7　小売電気事業者向け機能の業務フローイメージ

4. 5　需要家ポータル機能

Re:lvis では，調達のベース機能や小売電気事業者向け機能の付帯機能として，仲介事業者や小売電気事業者と契約している需要家が利用することを想定した「需要家ポータル機能」を提供している．需要家ポータル機能では，注文[*7] 情報の発注管理や，割当結果の照会，JEPX が発行した非化石証書 PDF のダウンロードができるようになっている．

5. 今後の展望

Re:lvis は，環境価値に関連する業務をワンストップで遂行できる世界を目指し，以下の二つの検討を進めている．

一つ目は，温室効果ガス排出量算定ツールへの連携である．すでに排出量算定ツール側で把握している電力使用量の情報を Re:lvis に取り込むことで，調達する非化石証書量を算出できるようにした．今後，Re:lvis が持つ非化石証書の情報を排出量算定ツールに連携することで，非化石証書の発行量を考慮した排出量を見える化することを目指している．

また，二つ目として，現在は，管理対象の環境価値は非化石証書のみであるが，今後は，グリーン電力証書やＪクレジットといった非化石証書以外の環境価値も取り扱えるように対応して，Re:lvis を通して複数の環境価値に関する情報を一元管理できるようなサービスを目指している．

6. お　わ　り　に

カーボンニュートラル宣言の普及とともに非化石証書への注目は高まっている．企業は，非化石証書を活用し，政策や市場の変化に対応していくとともに，リスクではなく好機と捉えて前向きに取り組むべきである．そのためにも，BIPROGY が提供する環境価値管理サービス「Re:lvis」の活用により，煩雑な手作業を効率化し，ビジネスチャンスへと転換することが期待される．

Re:lvis は，利用ユーザーのニーズを反映し，さらなる利便性の向上を図り，日本のカーボンニュートラル達成に貢献していく．BIPROGY は，Re:lvis を通して信頼できる環境価値の企業間取引を提供し，非化石証書を取り扱う企業間の価値共創を支えている．

最後に，本稿執筆にあたりご協力・ご指導いただいた全ての皆様に深く感謝し，御礼申し上げます．

＊1　エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律の略．一定規模以上の事業者に，エネルギーの使用状況等について定期的に報告させ，省エネや非化石転換等に関する取り組みの見直しや計画の策定等を求める法律である．

＊2　脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律の略．2023 年 2 月に閣議決定された「GX 実現に向けた基本方針」のうち，「成長志向型カーボンプライシング構想等の実現・実行」に関する事項について定めたもの．

＊3　成長志向型カーボンプライシング構想：企業などのカーボン排出に金銭的負担を求める「カーボンプライシング」について，最初は小さい負担で導入し，徐々に引き上げする方針をあらかじめ示すことで，早期の GX 投資に対するインセンティブを確保する政策構想．

＊4　環境（Environment），社会（Social），ガバナンス（Governance）の三つの要素を考慮した，環境問題や社会課題の解決を目的とする事業に資金を調達するために発行される債券．

＊5　調達した非化石価値は口座に反映されるが，口座に入っただけでは電気の CO_2 排出量がゼロであると証明できない．

＊6　供給電力量に対する再生可能エネルギーの割合や，太陽光や風力といった発電設備の種類の情報，地域の情報として都道府県を指定して管理することができる．

＊7　需要家ポータル機能では，需要家から，各オークションで調達してきてほしい非化石価値の希望内容と希望量を注文という形で受け付けている．

参考文献　［1］ IPCC 第 6 次評価報告書（AR6）統合報告書（SYR）の概要，環境省 地球環境局，2024 年 11 月，https://www.env.go.jp/content/000265060.pdf

［2］ 国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）京都議定書第 11 回締約国会合（CMP11）等（概要と評価），日本政府代表団，2015 年 12 月 13 日，

https://www.env.go.jp/earth/cop/cop21/cop21_h271213.pdf
［3］ 国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会合（COP26）結果概要，日本政府代表団，2021 年 11 月 15 日，https://www.env.go.jp/content/900518177.pdf
［4］「『カーボンニュートラル』って何ですか？（前編）～いつ，誰が実現するの？」，経済産業省 資源エネルギー庁，2021 年 2 月，https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/carbon_neutral_01.html
［5］「令和 2 年度エネルギーに関する年次報告」（エネルギー白書 2021）第 1 部 エネルギーをめぐる状況と主な対策 第 2 章 2050 年カーボンニュートラル実現に向けた課題と取組 第 2 節 諸外国における脱炭素化の動向，経済産業省 資源エネルギー庁，2021 年，https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/1-2-2.html
［6］「知っておきたい経済の基礎知識～ GX って何？」，経済産業省 広報室，2023 年 1 月 17 日，https://journal.meti.go.jp/p/25136/
［7］ 2023 年度の温室効果ガス排出量及び吸収量（詳細），環境省，2025 年 4 月 25 日，P3，https://www.env.go.jp/content/000310279.pdf
［8］ みずほリサーチ & テクノロジーズ，第 34 回ガス事業制度検討ワーキンググループ，資料 4 国内外の証書制度の整理，経済産業省，2024 年 2 月 29 日，P9，https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/gas_jigyo_wg/pdf/034_04_00.pdf
［9］ 非化石価値取引システム利用ガイド，JEPX，2024 年 11 月 8 日，https://www.jepx.jp/nonfossil/outline/pdf/Guide_NF.pdf?timestamp=1748186925133
［10］ 非化石証書の調達・管理効率化支援 Re:lvis®（リルビス），BIPROGY，https://www.biprogy.com/solution/service/environmental_value.html

※ 上記参考文献に含まれる URL のリンク先は，2025 年 7 月 28 日時点での存在を確認．

執筆者紹介 今 井 諒 太（Ryota Imai）
2018 年日本ユニシス（株）入社．電力会社を中心とした環境価値に関連するシステムの開発業務に従事．現在は，環境価値管理サービスの開発に携わる．

データセキュリティにおける認証・認可技術の変遷と今後の展望

Changes in Authentication and Authorization Technologies in Data Security and Future Prospects

三宅 健，今泉直柔

要 約 デジタル化が進む現代社会では，データセキュリティの重要性が増している．データセキュリティとはデータを「機密性」，「完全性」，「可用性」の観点で保護することであり，これを実現するために様々な技術が存在している．「認証」や「認可」という技術はデータセキュリティの中でも特に「機密性」の確保において中心的な役割を担っている．パスワード認証や多要素認証，SSOといった技術やAIの活用，ITDR，ブロックチェーン，量子コンピューティングといった技術が不正アクセス防止に貢献している．BIPROGYグループは，これらの技術を用いて顧客に最適なセキュリティソリューションを提供している．安全で快適なデジタル生活を送るために，認証・認可技術の基本的な仕組みや重要性を理解し，利用環境や状況によって適切な技術を選択し活用していくことが重要である．

Abstract In today's increasingly digital society, the importance of data security is growing. Data security involves protecting data in terms of "confidentiality," "integrity," and "availability," and various technologies exist to achieve this. "Authentication" and "Authorization" technologies play a central role in data security, especially in ensuring confidentiality. Techniques like password authentication, multi-factor authentication, and single sign-on (SSO), as well as the use of AI, ITDR, blockchain, and quantum computing, contribute to preventing unauthorized access. The BIPROGY Group aims to provide optimal security solutions to customers using these technologies. In order to ensure a safe and comfortable digital life, it is essential to understand the fundamental mechanisms and importance of authentication and authorization technologies, and to select and utilize appropriate technologies based on the usage environment and situation.

1. はじめに

2020年の新型コロナウイルスによるパンデミックをきっかけに，社会のデジタル化が急速に進められ，様々なサービスがデジタル化されたやり取りによって提供される社会が形成されつつある．これは個人情報を含むあらゆる情報が「デジタルデータ」という形で取り扱われることを前提としている．これらの「データ」の重要度によって，求められるセキュリティの強度は変化する．サービスを提供する企業や組織はこれを念頭に適切なセキュリティ設定を行うことが求められている．中でも，「認証」や「認可」といった領域はデータを保護するための一連のセキュリティの出発点として位置づけられており，アクセスするユーザーが誰であり，どのような権限を持っているのかを確認する重要な要素である．

本稿ではこの「認証」や「認可」の仕組みについて，それぞれの特徴や利用方法を紹介したうえで，認証・認可技術の将来的な展望について考察していく．2章ではデータセキュリティおよび認証と認可の概要について説明し，3章ではすでに取り入れられている代表的な技術に

ついて説明する．4章では実際に技術を取り入れる際の注意すべき点とBIPROGYグループの具体的な取り組みについて説明し，5章では今後発展が見込まれる技術について推察する．

2. データセキュリティと認証・認可

本章では，現在の「データセキュリティ」の定義とその重要性，およびデータセキュリティの中で「認証」と「認可」がどこに位置づけられるかについて述べる．

2.1 データセキュリティの動向と重要性

2000年代初頭にインターネットが普及して以降，社会の仕組みのデジタル化は急速に進んできた．特に2020年に発生した新型コロナウイルスによる全世界規模のパンデミックを契機にして，リモートワークや様々なオンラインサービスの拡充，行政のデジタル化の推進など，社会のデジタル化はさらに加速している．日本国内においても，2016年に政府が提唱した「Society 5.0[*1]」や2021年に設立されたデジタル庁によるデジタル社会の推進など，社会のデジタル化に向けた取り組みが進められている．

これらの取り組みの根幹にあるのは，膨大なデータの蓄積と分析および利活用である．この中には，行政で利用するために個人の情報が記録されたデータや，企業がサービス改善のために利用する顧客データおよび業績データなど，厳重に取り扱うべきデータが多く含まれており，データを保護することの重要性は非常に高い．そのため，日本における個人情報保護法やEUにおけるGDPR（一般データ保護規則）[*2]といった個人データを扱うための様々な規則が整備されている．

このように，社会のデジタル化の推進に伴ってデータ量の増加や利用範囲の拡大は加速度的に進行しており，データの適切な保護は現代社会において必須である．

2.2 データセキュリティにおける認証・認可

データセキュリティとは，取り扱うデータを以下の三つの観点で保護する手段である．

- 「機密性」：許可されたものだけが情報にアクセスできること
- 「完全性」：情報が正確であり，改ざんされていないこと
- 「可用性」：必要な時に情報にアクセスできること

データセキュリティを適切に実現するためにはアクセス制御や暗号化，データに関する監査ログの管理，バックアップといった様々な手法がある．その中で，本稿では「機密性」に関連する「認証」および「認可」の技術について説明する．

米国国立標準技術研究所（NIST）[*3]では「認証」および「認可」を以下のように定義している．

- 「認証」（Authentication）：ユーザー，プロセス，またはデバイスの身元を確認すること．多くの場合，システム内のリソースへのアクセスを許可するための前提条件となる．
- 「認可」（Authorization）：ユーザー，プログラム，プロセスに与えられるアクセス権限，またはその権限を与える行為．

これらの定義を踏まえると，「認証」とは「行ったのは誰か」を確認するプロセスであり，「認可」とは「その人は何ができるのか，しても良いのか」を確認するプロセスである．「認証」および「認可」の技術を適切に利用することで，データへのアクセス主体を特定し，アクセス

している状況から適切な範囲の権限を付与できる．認証や認可の分野では様々な技術が存在しており，それらを要件や状況によって適切に組み合わせて利用することで，データを適切に保護することができる．

3. データセキュリティで活用される認証・認可技術

本章では，データセキュリティで活用されている認証および認可の技術について代表的なものを取り上げ，それらの仕組みや特徴について述べる．

3.1 従来活用されてきた認証・認可の技術

本節で取り上げる技術は，既に多くの企業やサービスにおいて利用されており，十分に成熟している．そのため，これらの技術は認証や認可に関係する担当者がイメージしやすく，活用実績も多い．一方で，それぞれの技術に対する攻撃手法や脆弱性に関する情報も確認しやすいため，利用にあたっては十分に注意すべきである．

3.1.1 パスワード認証

多くの人が「認証」というキーワードから連想する技術として「パスワード認証」がある．パスワードは現在も多くのサービスで利用されており，デジタル化が進む現代社会において，パスワードを使わずに生活することは困難である．

パスワードの特徴としては「導入のしやすさ」が挙げられる．パスワードを利用することはサービスの利用者にとって広く一般的なものであるため，利用者が対応するためのハードルが低い．また，パスワードを設定するための特別な道具や環境も不要なため，導入コストも低く，サービス開発において迅速に実装できる．

一方で，パスワードの利用には様々なリスクがある．パスワードの持つリスクについては大きく分けて「漏洩」と「解読」という二つのパターンがある．

「漏洩」するという点では，フィッシングサイトなどによるパスワードの流出に加えて，PCにパスワードを書いたメモを貼っていたところを盗み見られるなど，ユーザー自身の管理方法が要因となることもある．また，パスワードの使いまわしによって，一つのパスワードの漏洩が複数のサービスの認証突破につながってしまうパターンも存在する．

「解読」されるという点では，辞書攻撃やブルートフォース攻撃など様々な手法によってユーザーのパスワードを解読されるリスクが挙げられる．機器性能の向上や AI の発展によって，パスワードが解読されるまでの時間は年々短縮されている．米国のサイバーセキュリティ企業である Home Security Heroes が公表している結果によると，自社開発によるパスワード予測 AI「PassGAN」によって，パスワードが英字（大文字と小文字の両方），数字，記号を全て利用している環境であっても，8 桁のパスワードが約 7 時間という短時間で解読できるとされている．

また，「人間がパスワードを忘れてしまう」というリスクもある．このリスクに対応するために，覚えやすいようにパスワードを使いまわしたり，自身が記憶しやすい単語に紐づけたりしたことによって，他者に「解読」される場合がある．

情報処理推進機構（IPA）[*4] が公開している「情報セキュリティ 10 大脅威 2025[1]」では個人向けの脅威に関して「インターネット上のサービスへの不正ログイン」の項目が 10 年連続で

ランクインしている．こうした現状を踏まえてIPAでは「セキュリティ対策の基本と共通対策[2]」でパスワードの適切な管理方法を公開している．

こうした背景から，認証にパスワードのみを使用することは現代において極めて高いリスクを伴う手法であると言える．

3. 1. 2　多要素認証（MFA（Multi-Factor Authentication））

3. 1. 1項で挙げたようなパスワードのみの認証でのリスクを回避する一つの手段として，多要素認証（以下，MFA）がある．多要素認証とはユーザーの認証を強固にするため複数の要素による認証を要求する方法である．ここでの複数の要素とは，表1に示す3種類に分類される．

表1　多要素認証の各要素

要素	利用できる認証	代表例
知識要素	ユーザーが知っている情報による認証	パスワード，秘密の質問
所持要素	ユーザーが所有している物による認証	SMS，メール OTP，IC カード
生体要素	ユーザーの身体的特徴に紐づく認証	指紋，顔

多要素認証は，これらのうち少なくとも2種類以上の要素の組み合わせによって認証を行うことを前提としており，それぞれの要素の中でもさまざまな認証を利用することができる．中には，Okta[*5]社が提供している「Okta Verify」やMicrosoft社が提供している「MS Authenticator」といった独自のアプリケーションを利用することで，プッシュ認証や生体認証，アプリケーションから取得できるデバイス状態などの様々な条件を複合的に加味した高度な認証手段も存在する．

多要素認証の大きなメリットはセキュリティの向上にある．パスワードにおけるリスクのように，仮にいずれかの要素が漏洩した場合でも，別の要素による認証が要求されるため，不正アクセスを防御できる．また，この追加の認証が要求されたという通知によって，ユーザーが自身のアカウントへの不正アクセスを発見するきっかけにもなる．

一方で，多要素認証はユーザーの利便性とコスト面での課題が存在する．利便性に関する課題としては，複数の要素による認証が求められるため，ユーザーの手間が増えることが挙げられる．また，これを悪用した「多要素認証疲労攻撃」（MFA Fatigue Attack）という攻撃手法も存在している．これは漏洩しているユーザー情報をもとに何度も繰り返しMFAの要求を行うことで，ユーザーの誤操作，あるいは誤認識を誘って認証を突破するという手法である．

コスト面での課題としては，所持要素や生体要素を利用した認証を行うために，生体情報を読み取ることができる機器など，個別に機器を調達しなければならないことが挙げられる．加えて，採用した認証方法がユーザーにとって馴染みがない方法であった場合，適切な教育をしなければならないこともある．

Okta社が提供する「The Secure Sign-in Trends Report[3]」では日本のユーザーのMFA導入率は54%という結果となっており，諸外国と比べても低い水準にある．この結果から，特に日本ではこれまで利用されてこなかった機器や手法を利用すること，あるいはそれらへコストをかけることへの抵抗感が強いことが考察できる．多要素認証を取り入れることの重要性と

ともに，多要素認証のメリット，デメリットを丁寧に説明し，ユーザーが納得して利用できる状況を作り出していかなければならない．

3.1.3　パスワードレス認証

パスワードレス認証は，名前の通りパスワードを利用せずに他の方法で認証を行うプロセスを指す．これによってパスワードに関するリスクを回避すると同時に，ユーザーのパスワードを管理する手間も省くことができる．

手段としては，3.1.2 項の多要素認証の要素として挙げた所持要素，生体要素のそれぞれの手法がある．両方を認証時に確認することで多要素認証を満たすこともできるが，その場合は多要素認証と同様に専用の機器やそれを利用するための教育といったコスト面での課題が発生する．

パスワードレス認証の推進を目的とした業界団体である FIDO アライアンスでは，このパスワードレス認証の標準的な規格である「FIDO」や「パスキー」といった仕様開発を続けており，サインインにかかる時間の短縮や成功率の向上，攻撃頻度の低下などパスワードレス認証による様々なメリットを統計情報と併せて提供している．

3.1.4　Single Sign On（SSO）

Single Sign On（以下，SSO）は 3 章でこれまで挙げてきた認証の手法とは異なり，ユーザーが複数のサービスを利用することを前提に認証頻度を下げることで利便性を向上する仕組みである．関連するシステムが共通の SSO の規格に従うことを前提に，特定のサービスで初めに認証を行った情報を他サービスでも流用することで認証のプロセスをスキップできる．

SSO にはいくつかの方式が存在するが，中でも主流となってきているのは認証プロトコルを利用する方法である．これらは主にインターネット上で通信する Web アプリケーションで利用されており，プロトコルの仕様に従い十分に確認した認証情報（トークン）を利用することで安全に，かつベンダーの独自仕様などに依存しない標準化した方式での SSO を実現できる．

認証頻度の低減以外の SSO のメリットとして，利用するサービス全体での認証強度の統一が挙げられる．SSO のプロセスの中で最初の認証を十分に強力な状態にすることで，各サービスが個別に認証方法を実装できない場合においても，高水準の認証が保証される．

一方で，SSO にはいくつかの大きなリスクが存在する．その一つは，単一障害点になり得ることである．SSO を提供するサービスは複数のサービスでの認証を肩代わりできる状態であるため，仮に SSO を提供するサービスが何らかの理由によって停止してしまった場合，関連するすべてのサービスにアクセスできなくなってしまう．このため，SSO を提供するサービスは可用性を十分に考慮しておくことが必須である．

また，SSO に利用する認証情報が漏洩した場合に，他サービスへの不正アクセスができるようになってしまうというリスクも存在する．このため，SAML のようなプロトコルにおいては，認証プロセスの中で適切に暗号化やデジタル署名による検証を行うなど，認証情報を厳密に取り扱っている．また，各アプリケーションの認証を SSO によってスキップする際には，アクセス時のユーザーの状況や前回認証を行ってからの経過時間によって再度認証を要求するなど，複数の条件を用いて認証頻度を設定し，利便性とセキュリティのバランスを見ながら最適な認証制御を検討すべきである．

次に，SSO を実現するための代表的な認証プロトコルである SAML と OIDC について，また OIDC のベースとなった認可プロトコルである Oauth 2.0 について，その概要を紹介する．

1）Security Assertion Markup Language（SAML）

SAML は主に SSO を実現する際に利用される認証のプロトコルである．XML ベースの情報を利用して，ユーザーの特定やユーザーが持つ属性情報を適切にアプリケーションへ提供できる．また，情報をやり取りする際のプロセスにおいては，暗号化やデジタル署名の仕組みを利用し，データの改ざんや盗聴を防止することが考慮されている．

SAML を利用することで安全な SSO 環境を構成することができるが，その仕様の複雑さや実装難易度の高さから，主に企業の社内システムでの利用が中心となっている．

2）Oauth 2.0 / Open ID Connect（OIDC）

Oauth 2.0 は認可に対するフレームワークを提供するプロトコルである．「スコープ」と呼ばれる情報でアクセスできる範囲を定義し，アクセスしてきた主体が持つトークンの情報から割り当てられたスコープの範囲内での認可を行う．API で情報を取得する際の権限を確認するなど，主に Web アプリケーション同士の認可制御を行うことができる仕組みである．

また，Oauth 2.0 のフレームを流用し，これにユーザーの身元確認プロセスを加えて拡張した認証プロトコルが OIDC である．Oauth 2.0 のフレームを流用しているため，OIDC は SSO の機能を提供するのと同時に，Oauth 2.0 による認可の仕組みを提供できる．また，SAML と比較して，やり取りする情報の構造が JSON をベースとしている点や Restful API との親和性が高いという特徴から，比較的新しい Web アプリケーションやモバイル向けのアプリケーションで利用されている．

3. 1. 5　認可コントロールの仕組み

ユーザーに対するアクセス許可を制御する認可コントロールの仕組みとして代表的なものを三つ取り上げる．これらを適切に組み合わせて設定することで，ユーザーが必要以上にデータにアクセスしてしまうことを防止できる．

1）ロールベースのアクセス制御（RBAC（Role-Based Access Control））

RBAC は組織における役割（ロール）を定義し，それぞれの役割でアクセスできる範囲を設定する制御方法である．例えば「管理者の役割を与えられたユーザーは A アプリケーションにアクセスできる」というような制御を実現する．

この役割は組織の構造や業務内容などに紐づけて定義する．これによって，それぞれの役割に必要最低限のアクセス許可を設定してユーザーに提供し，不正なアクセスを防ぐ．また，ユーザーの組織変更や新規追加などが発生した際にも，それに紐づく役割を管理者が変更するだけで適切なアクセス制御を行える．裏を返せば，RBAC は役割の定義とアクセス範囲の設定が適切に行われていることを前提としている．

2）属性ベースのアクセス制御（ABAC（Attribute-Based Access Control））

ABAC は対象ユーザーやリソース，アクセス環境などの情報に基づいてアクセス制御を行う方法である．例えば「ユーザーの部署が営業であり，役職がマネージャーである場合は B アプリケーションにアクセスできる」というような制御を実現する．

定義する属性によって静的，動的の両方で判断できるため，RBAC と比べて柔軟にアクセスを制御できる．一方で，動的な属性の定義をニーズに応じて確認しなければならないなど，

管理者の負担が大きいという側面を持つ.

3）コンテキストベースのアクセス制御（CBAC（Context-Based Access Control））

CBAC はユーザーの行動やアクセス時間，場所といったコンテキスト（状況）によってアクセス制御を行う方法である．例えば「C アプリケーションにオフィス外からアクセスできるのは特定の時間帯のみとする」というような制御を実現する.

よりリアルタイムに判断できるため，特にセキュリティを重要視するリソースに対するアクセス制御として有用である．一方で，定義の仕方によってはデバイスの制限やネットワーク状態などユーザーがアクセスしている環境全体を考慮した判断基準を検討しなければならないため，システムの複雑さが増す可能性がある.

これらの認可コントロールの仕組みに共通する課題として，定義が複雑になりやすいという点がある．ユーザーが必要以上にアクセス許可を得ることを防ぐためには，組織の構造やアクセス状況に応じて適切な範囲で権限設定を行い，かつそれらを定期的に見直すことが求められる．RBAC，ABAC，CBAC のそれぞれの特徴を生かし，管理負荷とのバランスを考慮しながら適切に権限を設計しなければならない.

3. 2　近年注目を集める認証・認可の技術

本節では，2020 年以降特に注目を集めている認証・認可の技術について記載する．これらの技術は有用性が評価されつつある一方で，運用するにあたってのノウハウなどが成熟しておらず，利用実績もまだ多くない.

3. 2. 1　認証・認可の分野における AI 活用

認証・認可の分野での AI 活用が注目されている．生体認証における精度向上などに利用されているケースもあるが，本項では以下の二つの例を取り上げる.

1）AI によるリスクベース認証

ユーザーの過去のログイン履歴やアクティビティ，ログインを行った際の場所や時間，利用する要素など，過去と現在の様々な情報を AI で分析し，AI によるリスクを評価する方法である．AI により算出されたリスクのスコアに基づいてアクセスを拒否したり，認証強度を変えたりすることができるため，よりリアルタイムな挙動から判断することができる．AI によるリスク評価はユーザーが認証を行うたびに算出され，ユーザーの認証試行回数が増えるほど，リスク評価の精度が向上していく.

基本的にリスク評価のロジックはサービスごとに異なり，また脅威対策の観点から公開されていないことが多い．このため，リスク評価の結果が安定するまで時間がかかる点や，誤検知の可能性がある点などを考慮しておかなければならない．段階的に認証強度を上げるなど，注意しながら運用に組み込むべきである.

2）AI による行動分析

SSO やログ連携などでユーザーの認証行為が一か所で確認できる場合，これらの監視および分析によってユーザーの行動分析を行うことができる．これによって異常な行動パターンを検知し，不正アクセスの兆候を発見し迅速に対処することができる.

特に，3. 1. 4 項で挙げたような SAML や OIDC のように SSO を行う際のセッションが漏洩

してしまうと，一度に複数のサービスに対して不正アクセスできるようになってしまう．AIによる行動分析を活用し，セッション漏洩時に不審な行動を検知することで，このような被害をリアルタイムで防止できる．また，仮に検知された行動がユーザーの正常な操作であった場合においても，不審な行動と誤解されるような操作方法があることを把握できるため，管理者はこれらに対する対策を検討できる．

ただし，これらの行動分析においても誤検知のリスクや，蓄積できるデータ量によっては活用が難しい場合もある．これらの機能を運用に組み込む場合は，長期的に継続して使用することが重要となる．

3. 2. 2　Identity Threat Detection and Response（ITDR）

ITDRとは，ユーザーのアカウントなどのデジタルアイデンティティ情報に関する脅威を検出し，対応する技術のことを指す．3. 2. 1項で挙げたAIによる行動分析やリスク判断もITDRに関連した技術である．ITDRは「アイデンティティに関する侵害は発生する」ことを前提として，迅速な検知と対応を主軸に置く仕組みである．

本稿で述べてきた認証・認可の技術は，それ自体のデメリットや攻撃手法の多様化などによって，侵害されるリスクが常に存在する．より強固なセキュリティを保つためには，リソースへのアクセスの入り口での確認と共に，アクセスした後の挙動についても常に監視するなど，認証・認可のリスクに対応できる環境を作り出すことが重要である．こうした背景から，ITDRへの期待は大きく，MarketsandMarkets[*6]が2024年に発行した市場予測によると，世界のITDRの市場規模は2024年の128億米ドルから2029年には356億米ドルに成長すると予測されている．

4.　認証・認可技術の利活用とBIPROGYグループでの取り組み

本章では3章で触れてきた様々な認証・認可の技術について，実際に活用するにあたってどのような観点や課題があるかについて説明する．また，BIPROGYグループにおける認証・認可技術への取り組みについても併せて説明する．

4. 1　認証・認可技術の利活用

認証・認可技術を実際に運用へ取り入れる際には，サービス提供者である企業や団体が留意すべき重要なポイントがいくつか存在する．加えて，組織自体の環境の制約なども加味して実装を計画し，運用していかなければならない．セキュリティ全般に関わる利活用については「NIST SP800-64 Security Considerations in the System Development Life Cycle」を代表とした様々な文献でまとめられているため，ここでは割愛する．本節では特に「認証」および「認可」の分野に着目して確認すべき点を記載する．

それは，「認証」および「認可」はユーザー操作に直結しており，セキュリティと利便性のバランスがユーザー体験において顕著に表れるという点である．多要素認証は仕組みとしてユーザーに複数の要素による認証を要求するため，セキュリティの強度が向上する一方で，場合によっては2回以上の認証操作が求められるなど，ユーザーにとっての利便性は低減する．さらに，多要素認証を行うための機器の紛失など，サービスの利用や業務遂行が不可能な状況になってしまう可能性もある．認証要素の選定は慎重に行い，ユーザーの教育やサポートも適

切に行わなければならない．このようなユーザーの利便性低減への対策として，パスワードレスや SSO といった利便性向上の技術を取り入れることが検討できる．

ただし，認証対象によってはあえてユーザーに認証操作を求めることで「重要な情報にアクセスしている」意識を促すという考え方もある．認証・認可の技術を導入する際にはその認証対象やユーザーの環境などから慎重に設計を行い，十分な試験期間を用意して，ユーザーへの教育を行いながら導入することが求められる．

4. 2　BIPROGY グループでの取り組み

本節では，BIPROGY グループでの認証・認可技術への取り組みについて紹介する．

企業の DX 推進やクラウドシフトへの支援として，ユニアデックスではゼロトラストの概念をベースとしたセキュリティアーキテクチャとして「CloudPas」を提唱している．図 1 に示すように「CloudPas」では SWG[*7] や CASB[*8]，EDR[*9] といった様々なセキュリティアーキテクチャを複合的に活用することで企業の情報資産を適切に守る解決策を提供する．

認証・認可の分野では IDaaS である Okta を利用している．Okta は本稿で取り上げてきた認証・認可技術を網羅的に提供しており，これらを複合的に組み合わせた「ポリシー」を構成して認証・認可の制御を行う．これにより，企業や組織ごとにそれぞれの環境で，セキュリティと利便性を加味した柔軟な構成を実現することができる．また，Okta はアイデンティティに関連した運用自動化機能（Workflows）を提供しており，これによって管理者の負荷を低減できる．こうした Okta の機能を最大限に活用することで，4. 1 節で挙げたようなセキュリティと利便性のバランスを考慮した最適解の実現を支援する．

さらに，Okta は IDaaS としてクラウドで管理できる ID 管理基盤と認証・認可制御だけでなく，CloudPas の製品である Zscaler や CrowdStrike といった製品との連携も提供している．特に EDR 製品である CrowdStrike との連携により，デバイスの詳細な状態を加味した認証・認可制御を実現することができる．製品単体での機能と併せて，各製品を適切に連携させることでゼロトラストモデルを実現できることが CloudPas の強みである．

また，BIPROGY グループでは企業におけるセキュリティの導入計画や運用における課題を支援するサービス「iSECURE」を提供している．「iSECURE」では顧客の現状を把握しアセ

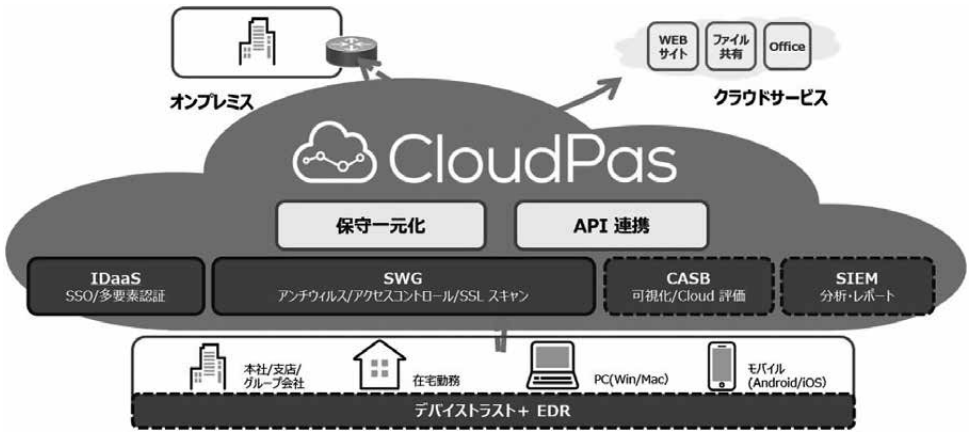

図 1　CloudPas ソリューション構成

スメントを行うといったコンサルティングサービスに加えて，セキュリティサービス導入後の運用監視，インシデント対応といった運用面での支援サービスも提供する．

今後も，BIPROGY グループは時代の変遷とともに多様化する攻撃手法とそれに対抗するセキュリティサービスや技術に追随し，セキュリティと利便性の両方の観点で顧客の環境に合わせた最適解を提供する．

5. 認証・認可技術の今後

本章では，本稿で触れてきた技術や活用方法を踏まえて，認証・認可の技術に関する今後の展望を考察する．

5.1 将来的な活用が見込まれる技術

考察の前に，現時点では活用事例が少ないものの，将来的な活用が見込まれている技術について説明する．

5.1.1 分散型アイデンティティ

分散型アイデンティティは，ブロックチェーンの技術を用いたアイデンティティ情報管理の新しい仕組みである．従来の中央集権型でのアイデンティティ管理と異なり，ユーザー自身が各自の情報を管理し適切な範囲で共有することができる．認証や認可の行為に直接は関連しないが，密接する技術である．

分散型アイデンティティのメリットは二つある．一つは，ブロックチェーン技術によるデータの改ざん防止である．ブロックチェーンの仕組みによりブロック間やシステム全体での相互の監査機構が働くため，データの改ざんが非常に困難となる．もう一つは，攻撃対象を分散できる点である．従来の中央集権型の場合，アイデンティティ情報は一か所にまとめられるため，侵害が発生してしまった場合には集約されるすべてのアイデンティティ情報に影響が及ぶが，分散型アイデンティティではこれを回避することができる．

一方で，分散型アイデンティティには課題点も複数ある．分散型アイデンティティを支えるためのインフラやシステムの整備などの環境面での制約も挙げられるが，特徴的な課題として現代のプライバシー保護関連法案に違反しかねないというリスクが存在する．各国のプライバシーに関する法案上での所有権や管理責任をブロックチェーンによる情報分散した形に合わせていかなければならない．

分散型アイデンティティの普及にはこうした技術的および立法的なハードルが存在しており，現時点で仕組みはそこまで浸透していない．とはいえ，分散型アイデンティティが普及すれば，ユーザーが自身のデジタルアイデンティティを主体的に管理し，異なるサービス間や国境を越えた標準的な仕組みの実現につながる可能性がある．

5.1.2 量子コンピュータと認証

量子コンピュータの台頭により様々な観点で計算技術の飛躍的な向上が確認されている．これらは技術的な発展をもたらす一方で，セキュリティへの攻撃手法の進化にもつながっている．

特に暗号化技術の分野において影響が大きい．現在主流の暗号化技術は「計算の難易度が非常に高い」ということを担保としている仕組みであるため，計算能力が向上した量子コン

ピュータにおいては従来の方法で暗号化した情報は簡単に解読できるからである．量子コンピュータによる暗号解読への対策として，耐量子計算機暗号（PQC）と呼ばれる暗号方式の開発，普及が進んでいる．

もちろん，量子計算の仕組みを応用したセキュリティの技術発展もある．量子暗号通信はその代表例であり，これは量子通信を行う際に利用する「光子」の「第三者の観測によって状態が変化する」特性を利用して，暗号化のための鍵を安全に共有するという仕組みである．こうした量子暗号通信の技術は，個人の情報を利用する認証行為とは切り離せない重要な仕組みになることが予想される．また，量子暗号通信と同様に「光子」の性質を利用した認証要素の開発や，量子ビットと呼ばれる量子コンピュータにおける特性を利用した多要素認証の開発など，量子計算の技術が直接利用された認証技術の研究も進められている．

現在はこうした技術を利用するための機器などが普及していないため，限定された範囲での活用にとどまっているが，将来的にこうした量子コンピュータや量子計算による技術を活用した認証の仕組みが一般化されることも十分にあり得る．

5.2　認証・認可技術の技術的課題と今後

本稿では様々な認証・認可の技術について，それらの特徴や課題を紹介してきた．認証や認可の技術は社会のデジタル化が急速に進む現代において，すべての人が安心して情報やサービスを受けるために必要不可欠な技術である．認証・認可という仕組みは情報を保護するための一連のセキュリティ対策の中で最初の門番とも言える部分であり，これが侵害されることの影響は非常に大きい．

一方で，認証・認可の仕組みはユーザーにとっても意識して触れる機会が多い部分である．パスワードや生体認証といった「ユーザーの確からしさ」を確認するためのアクションはユーザー自身が行う行為であり，この操作の難易度がサービスの利便性に直結する．

すなわち，認証および認可という技術は，より堅牢で，かつより便利であることが常に求められる領域である．あらゆる物事がデジタル化された社会で，ユーザーが意識せずとも安全にそのサービスを享受するために，認証・認可技術の継続的な進化や多様化するセキュリティ攻撃への対策を行っていくことが，現代において世界中が一丸となって取り組むべき活動である．また，技術の発展とともに，それぞれの技術における特徴やメリット，課題点，利用方法を逐次整理し，状況に合わせて適切な活用方法を検討し続けることが，デジタル上でのサービスを提供する企業や団体にとっても必要不可欠である．

認証・認可の技術に対する新たな仕組みを研究，開発する面でも同様のことが言える．日々高度化する攻撃への対処に加えて，ユーザーが安心して利用できる環境を整えることが重要である．このためには，仕組み自体のユーザービリティの向上に加えて，業界全体で標準化した仕組みの開発や継続した啓蒙活動などが有用である．情報技術の分野に精通していないユーザーが運用するためのノウハウを十分に理解して安心して利用できる状況を作り出すことが求められる．

デジタル化が一般化していく社会では，あらゆるサービスを自身のデジタルアイデンティティ情報を適切に守りながら利用しなければならない．すなわち，今後の社会においては，すべての人が認証・認可技術の基本的な仕組みや重要性を理解しておくことが，より安全で快適なデジタル生活を送るための前提条件になる．そのために「認証」「認可」の仕組みや技術動

向を継続して発信し，様々なリスクに備えておくことが，BIPROGY グループを含む IT 業界に携わる人々が共通して取り組むべき課題の一つである．

6. お わ り に

本稿では様々な認証・認可の技術の仕組みについて紹介した．ここで取り上げた技術以外にも，様々な企業，組織において多種多様な認証・認可の仕組みが存在している．それぞれの利用環境や状況などによって，適切な技術を選択し組み合わせて活用することが求められる．各技術の特徴を踏まえた活用を検討するにあたり，本稿がその一助になれば幸いである．

最後に本稿の執筆にあたり，ご支援いただいた皆様に深く感謝し，御礼を申し上げたい．

＊1 Society 5.0：IoT や AI といったテクノロジーを駆使してサイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させ，経済発展と社会課題の解決を両立する人間中心の社会モデルの定義．日本政府によって提唱され，2016 年に閣議決定された．

＊2 GDPR（一般データ保護規則）：欧州連合（EU）が 2018 年 5 月 25 日に施行したデータ保護に関する規則．個人のプライバシーを保護し，個人データの取り扱いの権利や透明性を確保することを目的としている．

＊3 米国国立標準技術研究所（NIST）：アメリカ合衆国の連邦政府機関の一つであり，科学技術に関連する標準について研究を行う機関．NIST が発行するサイバーセキュリティに関するガイドラインである SP800 シリーズは日本においても参照されることの多い文書である．

＊4 情報処理推進機構（IPA）：日本の経済産業省で IT 政策実施を目的とした独立行政法人．情報セキュリティに関しても様々な情報を発信している．

＊5 Okta：ID 管理及び認証基盤の機能を有するクラウド型ソリューション，および同製品を提供する企業．2024 年 12 月時点で Gartner が提供する Magic Quadrant for Access Management にて 8 年連続リーダーポジションの認定を受けている．

＊6 MarketsandMarkets：グローバルな市場調査を行う調査出版会社．医療，化学，エネルギー，IT など様々な業界や分野での業界分析や市場予測を行う．

＊7 Secure Web Gateway（SWG）：URL フィルタリングやアプリケーションフィルタリング，アンチウィルスなどの機能によってインターネットへの通信の安全性を確認し，状況によって通信を遮断するなどの処理を行うクラウド型のプロキシソリューション．

＊8 Cloud Access Security Broker（CASB）：ユーザーが利用するクラウドサービスを監視し，意図せずに利用しているサービス（シャドー IT）の検出や利用中のサービスのリスク確認をもとに企業ガバナンスを維持するためのソリューション．

＊9 Endpoint Detection and Response（EDR）：ユーザーが利用している PC やサーバーといった機器（エンドポイント）における実行中の通信やプロセスを監視し，異常や不信な挙動など脅威に対する検知，調査，対応を行うソリューション．

＊10 Identity as a Service（IDaaS）：ID や認証情報をクラウド上に一元的に管理し，SSO などの認証基盤としての機能やアクセス管理の機能を提供するソリューション．

参考文献 ［1］ 情報セキュリティ 10 大脅威 2025，独立行政法人情報処理推進機構，2025 年 1 月，https://www.ipa.go.jp/security/10threats/10threats2025.html

［2］ セキュリティ対策の基本と共通対策 情報セキュリティ 10 大脅威 2025 版，独立行政法人情報処理推進機構，2025 年 2 月，https://www.ipa.go.jp/security/10threats/eid2eo0000005231-att/kihontokyoutsuu_2025.pdf

［3］ The Secure Sign-in Trends Report，Okta，2023 年，https://www.okta.com/the-secure-sign-in-trends-report/

※ 上記参考文献に含まれる URL のリンク先は，2025 年 7 月 23 日時点での存在を確認．

執筆者紹介

三　宅　　健（Takeshi Miyake）

1999年日本ユニシス(株)入社．2004年ユニアデックス(株)に転籍．ストレージを用いたソリューションの金融系勘定システムへの適用など付加価値あるサービス提供に従事．2022年からクラウドセキュリティ，クラウドストレージのソリューション領域を担当している．

今　泉　直　柔（Naonari Imaizumi）

2017年ユニアデックス(株)入社．仮想化，HCI，ストレージ製品の設計および導入業務を経験後，2022年よりクラウドセキュリティソリューションであるCloudPasのデリバリー業務に従事．現在はIDaaSソリューションであるOktaの設計，導入を中心に担当している．

システム開発工程へのサイバーレジリエンス視点組み込みの提言

Recommendations for Incorporating Cyber Resilience Perspectives into the System Development Process

伊 藤 直 行

要 約 日本国内でランサムウエアによる被害は拡大しており，一部の事例ではサプライチェーンをも巻き込んだ事業停止を引き起こしている．情報システムにおけるセキュリティ品質を担保することの重要性は日を追って高まっている．2022年に発生したランサムウエアによるセキュリティインシデントでは，基幹業務システムが利用不能となったことで全面的な業務停止に陥り，復旧には数カ月を要した．このような被害を防ぐには「サイバーレジリエンス」の視点が重要である．「サイバーレジリエンス」とは，サイバーセキュリティ攻撃の影響を最小限に抑えつつ，迅速に元の状態に回復する能力を指す．情報システムの開発工程でサイバーレジリエンスの視点を組み込むことの重要性は，今後さらに増していく．

Abstract The damage caused by ransomware is increasing in Japan, with some incidents involving the supply chain leading to business interruptions. The importance of security quality in information systems is growing day by day. In a security incident involving ransomware that occurred at a customer site in 2022, the core business system became unavailable, resulting in a complete halt of operations, and the recovery took several months. In order to prevent such damage, the perspective of “Cyber Resilience” is essential. “Cyber Resilience” refers to the ability to minimize the impact of cyber security attacks while quickly recovering to the original state. This paper demonstrates the importance of incorporating a cyber resilience perspective into the information system development process through case studies of recovery from ransomware-related security incidents.

1. はじめに

日本国内においてランサムウエアによる被害は拡大しており，一部の事例ではサプライチェーンをも巻き込んだ連鎖的な事業停止を引き起こしている．

2022年に，BIPROGY株式会社（以下，BIPROGY）が担当する顧客（以下，Z社）の基幹業務システム（以下，基幹システム）にて，ランサムウエアによるセキュリティインシデントが発生した．基幹システム基盤が利用不能となったことで，Z社は全面的な業務停止の状態となり，業務が全面復旧するまでに数カ月を要した．さらに，復旧作業にかかるコストや手作業での業務運用にかかるコストなど，Z社のコスト負担は膨大なものとなった．

このインシデントではバックアップサーバーも被害に遭ったため，システムおよび業務の復旧に多くの時間を要した．業務アプリケーションソフトウエアやそれらに関する構成ファイルは被害を免れた開発環境から復旧できたものの，基幹システムを構成するサーバーやそこで管理されていた業務データは早期の復旧が不可能となり，最終的にシステム基盤上の全サーバーを初期化したうえで再構築することとなった．インシデント発生を前提として，早期復旧に向けて準備しておく「サイバーレジリエンス」の視点の重要性を強く感じさせられた．

「サイバーレジリエンス」とは，「サイバーセキュリティ攻撃の影響を最小限に留めつつ，迅速に元の状態に回復，復元すること」[1]を指す．本稿では，ランサムウエアによるセキュリティインシデントの復旧対応の事例をケーススタディとして，システム開発工程における「サイバーレジリエンス」の視点の組み込みの重要性を提言する．2章で今回の事例の概要と初期対応を時系列に沿って説明し，3章で復旧作業の概要と並行して実施したセキュリティ強化策について説明する．4章で今回のインシデントに関連する非機能要件について整理し，5章でサイバーレジリエンスの視点を組み込むことの重要性について説明する．

2. セキュリティインシデントの概要と初期対応

本章では，インシデントが発生したシステム構成およびインシデントによる被害の概要と，その後の復旧作業への足掛かりとなる初期対応について説明する．

2.1 システム構成および侵入経路の概要

Z社では，データセンター（以下，DC）にてサーバーやディスクストレージ装置（以下，ディスク）などのシステム基盤を構築している．そのうち，基幹システムを含む全社業務システムの基盤と，DCや社内拠点の一部の内部ネットワーク（以下，NW）をBIPROGYが構築し，インターネットなど外部NWの境界をBIPROGYグループ以外のNWベンダが構築した．構築後の運用管理はZ社が実施している．

NWの論理構成を図1に示し，今回のインシデントにおける侵入者の侵入経路を破線にて表す．今回のインシデントでは，このNWの境界領域に配置したNW機器のVPN接続機能の脆弱性を突かれ，外部からの侵入を許した．社内NWへの侵入後，侵入者は攻撃ツールを使用して，次々と基幹系システムを構成するサーバーに管理者権限でアクセスし，ファイルの暗号化を実行した．

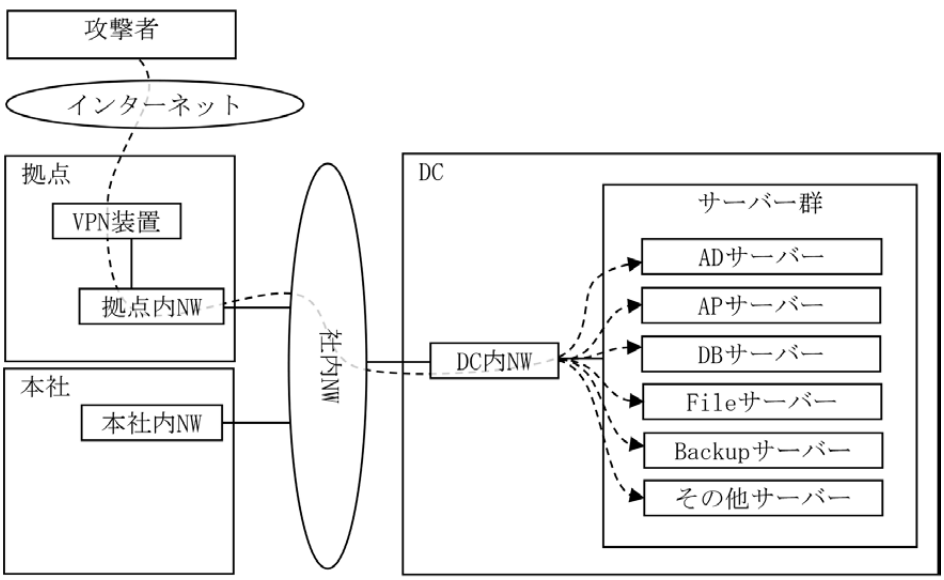

図1　NW論理構成と侵入経路

2.2　インシデントによる被害の概要

ファイル改ざんの痕跡と検体から，使用されたランサムウエアは「LockBit3.0」[2]だと特定された．このことから，侵入者は，侵入，探索，アカウント窃取，ファイル改ざんなどを組織的に高度化して実行する RaaS（Ransomware-as-a-Service）[*1] 組織であると想定される．

初期対応で行った被害調査では，DC の基盤に構築した物理サーバーと仮想サーバーのうち，60％近くが被害に遭ったことが分かった．さらに，被害に遭ったサーバーにおいては，最初にシステムの異常が検知されてから数時間のうちに攻撃が完了していたことも分かった．

また，基幹システムでは，Active Directory（以下，AD）による統合的なアカウント管理をシステム基盤全体のポリシーとして，AD ドメイン[*2]，サーバー，およびエンドユーザの権限管理が行われていた．後の調査で，この AD ドメイン全体を管理する管理者アカウントのパスワードが窃取されていたことが分かった．このパスワードは辞書攻撃[*3] などにより窃取されたものと推察している．管理者権限で操作できるアカウントで侵入されたため，AD ドメイン内に構築されたサーバーに対して，侵入者は容易に攻撃することができた．

ファイル改ざん動作の詳細は割愛するが，被害にあったサーバーでは多くのファイルが暗号化されていた．これにより，業務アプリケーションだけでなく，データベースなどのミドルウエアを含むほとんどのソフトウエアの機能が停止した．また，ファイルサーバーなどに格納される業務データも使用不能となった．結果として，基幹システム全体が使用不能となり，Z 社は業務停止に陥った．

2.3　初期対応

インシデント発生後，最初の二日間の初期対応タイムラインを表 1 に示す．まず，発生一日目の早朝にシステムの異常を知らせる障害発報が発生した．これはディスク容量の圧迫を示すものであった．この障害について Z 社による調査が始まり，基幹システムが使用できないことが判明した．

この段階で，Z 社からの連絡を受け，Z 社の承認のもと BIPROGY が対応作業の支援を開始した．まず外部 NW 遮断を実施した後，緊急 CSIRT[*4] の立ち上げ，対応作業の優先順位付け，検体確認などの初期対応を実施した．並行して，Z 社のニュースリリースや当局連携などの外部広報を支援し，PMO 業務の後方支援チームも組織した．おおよその復旧態勢とその指揮系統を，Z 社と BIPROGY が協同して 3 営業日内で構築した．

表 1　初期対応タイムライン

対応日	時刻	状　況
一日目	3:23	最初の監視イベント通知．ディスク容量圧迫のイベント確認
	7:56	Z 社情報システム部メンバーが DC に到着，調査開始．基幹システムが利用不能であることが判明．仮想サーバー管理画面からサーバーに接続しランサムウエアへの感染メッセージを確認
	10:00	BIPROGY グループの DC 常駐メンバーが Z 社の支援を開始
	10:13	インターネット接続 NW と社内閉域 NW を抜線
	11:58	AD サーバー，バックアップサーバーにてランサムウエア実行の痕跡があることを確認

対応日	時刻	状　況
	13:10	Z 社がサーバー群の感染状況を調査開始
	17:30	BIPROGY の担当 SE が DC に到着
	19:50	全サーバーのうち 60%が感染していることを確認
	21:30	Z 社・BIPROGY グループメンバーによる対策会議を実施．この時点で，復旧の目途立たずという状況を報告
	22:00	Z 社内部にて CEO 含めた報告会実施．翌朝，Z 社内部にて全役員含む対策会議開催にて方針決定を決議
	22:30	Z 社・BIPROGY グループメンバーが DC 退館
二日目	9:00	Z 社内部にて対策会議実施．BIPROGY へニュースリリース準備支援から始まり，業務システム影響調査と復旧に関する全面的な支援要請あり
	10:00	復旧・調査会議実施．調査チーム，復旧チームを編成．BIPROGY-CSIRT チームが Z 社本社に向けて移動開始
	13:00	定時進捗会議を実施．被害調査および復旧対象ファイルの確認状況を報告
	13:50	BIPROGY-CSIRT チームが Z 社本社到着．詳細状況確認および対応内容，体制検討したうえで対応作業継続
	17:00	定時進捗会議を実施．調査状況を共有．Z 社にて業務システム再構築を全体方針とすることを決議
	18:00	Z 社内部にて全社報告会実施．CEO から全社員向けに全体方針メッセージ発出
	18:30	BIPROGY-CSIRT チームメンバーが DC に入り，検体取得し AD サーバーを調査
	21:00	定時進捗会議を実施．検体の詳細調査結果にもとづき，ランサムウエアに間違いないことを共有

なお，インシデント発生翌日に実施した全社報告会において，Z 社 CEO が「過去を振り返らず，復旧最優先で新しく作り直していく」として大方針を表明したことにより，復旧に向けての意志を統一することができた．業務復旧に向けた対応作業の中では，サプライチェーンの川上と川下両面にわたる取引先への緊急連絡や，各拠点および各部署での人手作業の差配など，Z 社のシステム部と各業務部門が協力して復旧に向けた緊急態勢と業務プロセスを構築していった．CEO からの明確なメッセージ発出によって復旧態勢が構築され，業務システムが使用不能な状態の中でも，工夫しながら業務を継続することができた．

3.　復旧作業とセキュリティ強化の概要

本章では，システム復旧のプロセスを説明した後に，実施したセキュリティ強化の概要を示す．特に，システム復旧を行いながら同時にセキュリティ強化を行うとよい場合など，戦略的に復旧作業を計画することの重要性について説明する．

3.1　復旧作業の大方針

本節では，復旧作業の概要を示すとともに，復旧作業を計画し実施するにあたっての留意点について述べる．今回の事例では，最初に「どのようにシステム基盤を復旧するのか？」という大方針を決断した．また，感染したサーバーの画面上に表示されていた身代金要求メッセージに対しては，警察当局と BIPROGY-CSIRT の助言により「RaaS 組織に身代金は支払わない」

ことを決定した．なお，身代金支払いの是非については，経済産業省から「金銭の支払いは厳に慎むべきものである」との指針が出ている[3]．

その後，RaaS 組織との交渉による解決をしないという決定と，バックアップサーバーも被害に遭いバックアップデータが使用不能となっている状況を考慮したうえで，調査と復旧のどちらを優先するかを検討した．個々のサーバーの詳細なフォレンジック調査[*5]を行うには時間がかかること，業務システム全体が使用不能となり事業停止となっている状態を早期に復旧しなければならないこと，さらには被害にあったサーバー内のウイルス残置の可能性を排除しなければならないことなどから，今回は復旧を優先し，システム基盤を構成するサーバーとディスクを初期化して再構築するという判断に至った．

3.2　復旧計画の策定

本節では，全体復旧計画の策定と，日々の計画および実行の管理について述べる．全領域の業務システムの復旧を完了するには時間を要するため，今回は業務領域ごとに優先度をつけて各業務システムの復旧時期を設定した．最初に復旧すべき業務領域には，Z 社にとっての取引先である発注者への業務影響がもっとも大きい領域を選定した．その後に，Z 社が製造委託を行う発注先に関連する業務，最後にバックオフィス系の業務を復旧する方針とした．

こうして，業務領域の復旧優先度を考慮した業務システムごとの復旧期日を設定し，それらをマイルストーンとした全体復旧計画を策定した．復旧作業にあたっては，サーバーやソフトウエアなどの復旧を行う基盤復旧チームと，データやプログラムなど業務システム視点での復旧を行う業務復旧チームを両輪として実行体制を構築し，この体制に対応する作業をマッピングして中日程を策定した後，詳細な作業計画である作業パッケージを WBS として詳細化した．意思決定の場としては，Z 社システム部メンバーと BIPROGY グループメンバーの共同で朝会を定時開催し，実施状況の確認とスケジュール調整および課題管理を行いながら復旧作業を進めていった．

3.3　復旧作業の概要と経緯

復旧作業の概要を表 2 に示す．各種 NW 機器のログ調査により，今回の被害範囲は DC 内のサーバー基盤にとどまり，各拠点のクライアント PC や各種 NW 機器には被害がおよばなかったことが分かった．特に本社内情報システム部署に配置している開発環境にはテスト用途のプログラムやデータベースが保管されており，これを使用して業務アプリケーションや一部の業務データを復旧することができた．さらに，設計書などのドキュメント類について，システム基盤設計情報は BIPROGY でも保管することで合意していたため，Z 社が運用管理しているアカウントや EDI 取引先通信などの各種管理台帳と合わせて，基盤構築およびその後の各種設定作業を進めることができた．もし，電子化したシステム基盤設計情報がファイルサーバーのみに保管されていたら，暗号化の被害を受けて復旧は困難となっていた．また，暗号化されていなかったとしても，ネットワークを遮断している環境下では，ファイルへのアクセスに時間を要する．システム基盤および業務システムの設計書の構成管理の重要性があらためて認識された．

表 2　復旧作業の概要

No	対　象	復旧作業
1	サーバー基盤	・サーバー基盤を構成する物理サーバー，ディスクを初期化し仮想サーバーを初期構築する． ・OS を含むソフトウエアを新規で導入・設計し，サーバー間の通信を行うための設定を行う． ・古いバージョンやサポート停止のソフトウエアがある場合，原則新しいバージョンを適用する．
2	業務アプリケーション	・開発環境で保管していたソースプログラムから新しくビルドして配置する． ・サーバー上のソフトウエアのバージョンアップに依存する非互換が発生する場合は，原則作り直して非互換に対応させる．
3	業務データ	・開発環境に残っていた検証用データベースをもとに，業務データベースを新しく構築したうえで，業務アプリケーションを稼働させるためのマスタデータを再登録する． ・取引先管理台帳をもとに EDI 取引先接続のための接続定義を新規設定する．

全システム復旧までの経緯を表 3 に示す．インシデント発生の翌月には，一部取引先に関連する業務を再開した．Z 社によるマスタデータ整備も進み，2 カ月後以降は順に各業務を再開し，4 カ月後には月次バッチ処理の確認により基幹業務が全面再開となった．インシデント発生から 5 カ月後にはその他システムの復旧も完了し，全システムが再開した．

表 3　復旧の経緯

No	時　期	復旧経緯
1	某月中旬	セキュリティインシデント発生
2	某月下旬	侵入箇所含む外部接続 NW 機器への脆弱性パッチ適用
3	某月下旬	サーバー，ディスク初期化
4	翌月上旬	一部取引先に関連する業務を再開，順次取引先を拡大
5	翌月中旬	取引先に関連する業務の再開範囲を拡大
6	2 カ月後	取引先に関連する業務の全面再開
7	3 カ月後	発注先に関連する業務の全面再開
8	4 カ月後	月次処理，基幹業務システムの全面再開
9	5 カ月後	会計システムを含む全システムの全面再開

3. 4　セキュリティ強化要件

仮に，すべてのサーバーをこれまでの基盤設計書通りに再構築したとしても，インシデント以前の状態に戻るだけでセキュリティ強化にはならない．今回は復旧作業と並行して，侵入時および侵入後のランサムウエア実行までの被害を防ぐ対策を，Z 社とともに網羅的に確認していった．さらに，再度被害に遭った場合の復旧要件も含めて，Z 社と相互認識しながら，具備すべきセキュリティ強化要件を整備してきた．

今回実装したセキュリティ強化要件の一部について，詳細を表 4 に示す．この要件は，初期対応時に CSIRT メンバーが起案した要件を整理し，Z 社情報システム部門の上位管理者との協議を経て環境に合わせてブラッシュアップしたものである．

表 4　セキュリティ強化要件

No	要　件	対応方式
1	外部不正アクセス防止	・ログイン認証およびクライアント証明書認証による多要素認証 ・ビルトイン管理者アカウント Administrator の無効化
2	パスワード窃取防止	・サーバー，NW 機器の管理者パスワードの複雑化 ・不正パスワード投入時のロックアウト設定
3	不正侵入・不正操作の検知・分析・遮断	・サーバー，クライアント PC などへのふるまい検知機能を持つ EDR 製品[*6] 導入 ・ログ監視による不正侵入検知サービス利用
4	SOC サービス利用	・外部 SOC[*7] の利用によるセキュリティ運用体制構築
5	セキュリティ診断利用	・セキュリティ診断の定期的な実施によるリスク可視化
6	システム保守におけるサーバーアクセス強化	・サーバーへの直接アクセスの多要素認証化 ・アクセス可能な PC からの通信制御強化
7	セグメント分離によるアクセス制御強化	・取り扱うデータの機密度により機密セグメントと一般セグメントに分離することで通信制御を強化 ・NW 機器だけでなくサーバー OS レベルでのアクセス制御強化
8	バックアップ複数方式適用	・「バックアップの 3-2-1 ルール」[*8] の具備 ・ディスク製品のスナップショット機能[*9] の利用

復旧作業においては，これらの要件を効果的に実装するため，サーバーの初期設定などの初期構築時に実施すべき作業と復旧後に実施すべき作業を区分けして対応を進めた．

システム基盤の復旧作業と同時に実施したセキュリティ強化策は，「外部不正アクセス防止」，「パスワード窃取防止」，「セグメント分離によるアクセス強化」など，サーバーやディスクの初期構築時に実施すると効果のあるものを選定した．システム基盤の復旧作業が完了した後，業務の復旧と並行して，「不正侵入・不正操作の検知・分析・遮断」，「SOC サービス利用」，「セキュリティ診断利用」，「システム保守におけるサーバーアクセス強化」，「バックアップ複数方式適用」といったセキュリティ強化要件を実装することとした．すぐに実装できないものは次年度予算化を行うなど配慮し，そのうえでセキュリティ強化要件（表 4）をできる限り網羅するよう，優先度と実装順序を決定した．

最終的に実装したセキュリティ強化要件には，BIPROGY 以外のベンダによるものや Z 社自ら実装したものも含まれている．復旧作業においても，Z 社がコストとスケジュールを勘案しながら網羅的に実装することを優先した結果である．

4.　インシデント発生の要因分析と重要な非機能要件の整理

本章では，インシデント発生の背景にある要因を分析するとともに，セキュリティ強化において重要な非機能要件について説明する．

4.1　システム障害に対する非機能要件

被害に遭ったシステム基盤のなかで，最も業務への影響が大きかったのは Z 社の業務領域の全体を網羅する基幹システムである．

今回のインシデントに関連するシステム障害の重要な非機能要件を表 5 に示す．今回の基幹

システムは，単一障害点 SPOF（Single Point Of Failure）[*10] を冗長構成方式で回避する設計としていた．そのため，障害点が単一箇所であれば，稼働率 99.99％を担保できるように基盤方式設計，サイジング設計，およびシステム運用設計を実施していた．

表 5　インシデントに関連する重要非機能要件

No	非機能要件項目	内　　容
1	システム内部とシステム外部の境界の侵害の前提	・境界 NW のファイアウォールの機能により，システム基盤に対する侵入は防御できることを前提とする．
2	障害発生箇所の前提	・通常のシステム利用の範囲においては，同時に複数箇所で障害が発生することが無いという前提で，SPOF を回避する設計とする．
3	バックアップ方針	・基幹システムなどの最重要システムが早急に復旧できるよう，システムイメージ（OS，ミドルウエア），アプリケーション，データをバックアップサーバーに保管し，最新トランザクションまで復旧できるように設計する．

4. 2　セキュリティインシデントを想定した非機能要件の必要性

システムの内部と外部の境界にある NW 構成は，BIPROGY グループ以外の NW ベンダにより構築されていた．今回のインシデントは，Z 社の NW 担当要員が脆弱性パッチ[*11] の情報を得て，適用作業の段取りを考慮していた時に発生した．このように，事前に脆弱性に対する準備をしていたとしても，いつでも発生しうるのがランサムウエア被害の特徴である．

また，今回のインシデントでは，障害発生箇所の前提要件にもとづき SPOF 観点から可用性の設計を行っていたにもかかわらず，同時に複数のサーバーが被害に遭い機能停止に陥った．これは，通常使用時での障害ポイントの要件だけでなく，セキュリティインシデントや災害時復旧を想定した全損状態となるインシデントを強く意識する必要性を示している．

さらに，復旧時に使用するバックアップデータについては，システム基盤が全損状態となった場合でも「使用できる状態」で保管されていなければならない．今回のインシデントでは，バックアップサーバー上のデータも暗号化されて使用できなかった．こういった事態を防ぐためにも，バックアップデータはセキュアかつ分散されたサイトに保管することが望ましい．「常に三つのデータコピーを作成し，それらを二つの異なる媒体に保管し，一つはオフライン環境に保管する」という「バックアップの 3-2-1 ルール」[*8] に準拠することがより強く求められる．

このように，非機能要件については「万一重大インシデントが発生した場合，システム基盤を復旧できるか？」という視点で十分に検討すべきであり，これらの重要な要件が欠落することがないように考慮しなければならない．

4. 3　当該プロジェクトにおける重要な非機能要件設計の盲点

プロジェクトを進める中で，システムへの要求や要件とコストはトレードオフの関係となる．コスト削減を優先する場合，一部の要件事項を削除するか，もしくは性能品質を抑制しなければならないこともある．また，企業の基幹システムは，内部 NW の領域に構築されることが多い．こうしたシステム基盤の外部 NW と内部 NW の接続境界において，セキュリティ観点での見直しが十分でないケースも多い．

非機能要件は非常に広い領域を対象としており，通信方式や冗長化方式など詳細な方式の規定，性能の担保なども網羅する．加えて，非機能要件の検討では，ディザスタリカバリなど事業継続計画にもとづく災害対策の高い視点で事項を整理しなければならない．

情報システムおよびシステム基盤の構築に掛けられる予算は限られている．そんな中でも，企画段階で考慮すべき非機能要件を定義する際の重要なポイントとして，以下が挙げられる．

- 顧客が統括してマルチベンダにてシステム基盤を構築する場合，複数の基盤構築ベンダ間での包括的なセキュリティ視点が重要である．特に，外部 NW と内部 NW の双方についてセキュリティ要件を確認することは重要である．
- インターネットを含む外部 NW 接続境界でのインシデントが発生する場合は，被害が広範囲におよぶことに留意すべきである．
- システム基盤の更改時点など構成を見直す際に，セキュリティ要件をチェックしそれに見合った対策を実施することが重要である．
- ランサムウエアなどによる外部からの攻撃が発生することを前提として非機能要件を設計すべきである．

5. サイバーレジリエンス視点の組み込みの提言

本章では，セキュリティ対策においてサイバーレジリエンスの視点を組み込むことの重要性について説明する．

5.1 サイバーレジリエンスの考え方の理解

デジタル庁が作成した「政府情報システムにおける セキュリティ・バイ・デザインガイドライン」[4]に次の記述がある．

「企画から運用まで一貫したセキュリティ対策を実施する「セキュリティ・バイ・デザイン」の必要性が高まっている．」

また，同じくデジタル庁が作成した「政府情報システムにおけるサイバーセキュリティフレームワーク導入に関する技術レポート」[1]に次の記述がある．

「サイバー攻撃に対して「防御」を中心とした従来のセキュリティ態勢の構築が未だに続いている．しかしながら，昨今の高度化・複雑化するサイバー攻撃に対して，「防御」中心のサイバーセキュリティ対策だけでは，対処することが困難になってきている．そのため，サイバー攻撃は完全に防ぐことはできないという前提のもと，「防御」の対策だけではなく，サイバー攻撃を速やかに「検知」するとともに「対応」し，被害が発生した際には「復旧」するといったサイバーレジリエンスに関する対策にも注力すべきである．」

なお，同文献は「サイバーレジリエンス」を以下のように定義している．

「サイバーセキュリティ攻撃の影響を最小限に留めつつ，迅速に元の状態に回復，復元すること」

すなわち，企画・設計・開発・導入・運用・廃棄というシステムのライフサイクルの全ての段階において，一貫したセキュリティ対策をとることが重要である．さらに識別・防御・検知・対応・復旧の五つのセキュリティ機能の中でも，とりわけ検知・対応・復旧の対応策に注力すべきである．ここまで述べてきたように，「セキュリティインシデントは必ず発生する」という意識が重要であり，被害を受けた場合でも，すぐにインシデントの発生を検知しシステムを

復旧させる機能を，システム基盤構築の初期段階からセキュリティ設計の一部として組み込むべきである．

このように，システムのセキュリティ対策を設計するにあたっては「セキュリティを担保するために，いつ，誰が，何をすべきか？また，セキュリティ対策導入の目的をどのように考えるべきか？」という包括的かつ文脈的にも理解しやすい視点を常に持つことが重要である．

5.2　サイバーレジリエンス視点組み込みの提言

セキュリティインシデントがいつ発生してもおかしくない状況では，復旧機能の視点が重要である．「政府情報システムにおける セキュリティ・バイ・デザインガイドライン」[4]では，セキュリティ設計の項に「重要なセキュリティ対策の考え方」として「アタックサーフェス（攻撃対象領域）の管理，防御」，「管理者アカウントの保護」，「サイバーレジリエントな設計の実施」の３項目が定義されている．

識別・防御・検知・対応・復旧の五つのセキュリティ機能の中で，防御，検知の機能領域に該当する「アタックサーフェス（攻撃対象領域）の管理，防御」の項目を以下に引用する．

- セキュリティ設計においては，攻撃対象となるアタックサーフェス（攻撃対象領域）を極力減らす設計を行い，防御することが重要となる．
- システムにおけるアタックサーフェス（攻撃対象領域）を把握するため，システムで使用する資材の資産管理を実施し，最新な状態を維持する．
- システムで使用するハードウェアやソフトウェア等の資産に関して，脆弱性管理可能な仕組みを導入する．
- 攻撃者による悪用を防止するため，システムにおいて不要な機能やサービスは実装しない．プラットフォームに初期設定でインストールされているような機能，サービスも使用しない．
- 外部 I/F への入力に関しては，信頼せず，必ず入力値検証を実施する．

次に，防御，検知の機能領域に該当する「管理者アカウントの保護」の項目を以下に引用する．

- 権限管理に起因するインシデント被害を極小化するため，ユーザアカウント，管理者アカウントに対して過剰なアクセス権限は付与しない．
- とりわけ，管理者アカウントの悪用は被害が大きくなるため，管理者権限の利用者は必要最小限にとどめ，管理者アカウントによるアクセスには多要素認証等を用いて十分に保護する．
- 管理者アカウントの利用者を特定可能な仕組みを導入し，追跡可能な状態にする．

最後に，検知・対応・復旧の機能領域に該当し，本稿の主旨である「サイバーレジリエントな設計の実施」の項目を以下に引用する．

- サイバー攻撃の大規模化，高度化に伴い，攻撃は成功し，インシデントは発生する前提にたち，防御力だけでなく回復力（サイバーレジリエンス）を高める設計が重要となる．
- システムアーキテクチャの設計においても，NW 分離やアクセス権の必要最小権限付与，ゼロトラストセキュリティの考えに基づく対策の導入等，インシデント発生時のシステムへの被害を極小化するための設計が求められる．
- 必要な機器やソフトウェアのログ，セキュリティ製品のアラート等を収集/分析し，イ

ンシデント等異常な状態を速やかに検知するため，独立した監視環境を用意することが，セキュリティ運用上重要となる．

- インシデント検知をした際は，速やかなインシデント対応やサービス復旧を可能とする，運用体制や運用プロセスの整備が求められる．速やかなサービス復旧を行うため，重要データのバックアップやリストア手順を事前に準備する．

このように，セキュリティに関する設計項目を文脈形式で認識しておくことで，セキュリティ・バイ・デザインの必要性，特にサイバーレジリエント設計の必要性を理解でき，大まかな実装方式をとらえやすくなる．このような項目を，すべての開発工程のチェックリストに明示的に加えることが有効である．復旧作業と同時に実施したセキュリティ強化対応の要件（3.4節の表4）も，本節に記した設計項目と多くの事項が合致する．実際に行ったセキュリティ強化対応では，この要件一覧を常に見返すことで，どのような要件を実装しているかを意識しながら作業を進めた．

5.3　情報処理安全確保支援士として今後の活動への適用

今回のセキュリティインシデントの発生とほぼ同時に，筆者はセキュリティスペシャリストの国家資格である情報処理安全確保支援士（以下，支援士）の資格を取得していた．支援士の業務と役割を以下に引用する[5]．

1) 情報セキュリティ方針及び情報セキュリティ諸規程（事業継続計画に関する規程を含む組織内諸規程）の策定，情報セキュリティリスクアセスメント及びリスク対応などを推進又は支援する．
2) システム調達（製品・サービスのセキュアな導入を含む），システム開発（セキュリティ機能の実装を含む）を，セキュリティの観点から推進又は支援する．
3) 暗号利用，マルウェア対策，脆弱性への対応など，情報及び情報システムの利用におけるセキュリティ対策の適用を推進又は支援する．
4) 情報セキュリティインシデントの管理体制の構築，情報セキュリティインシデントへの対応などを推進又は支援する．

今回のインシデント対応における調査・復旧作業とセキュリティ強化対応作業を通して従事した業務は，支援士としての業務と役割とも合致する．セキュリティ強化対応策を案出することは，1)の「情報セキュリティの方針と規定を策定し，推進すること」である．システム基盤に対する2)の「セキュリティ機能の調達，開発」は，セキュリティ強化の実装作業そのものである．パスワードの強化などは，3)の「暗号利用などの情報システム利用上の，基本的なセキュリティ対策」と合致する．最後に，4)の「セキュリティインシデントへの対応と，複数のセキュリティ強化対策」については，優先順位とコスト計画を考慮した実施計画とすることで，Z社の要求に沿った実装を実現したことと合致する．

顧客のコスト制約などを考慮してプロジェクト管理を推進するプロジェクトマネージャのような「スコープ，予算，工程，品質などの管理」に対する責任は，支援士の役割には含まれていない．しかし，急激なコスト負担を考慮した対応が求められる場面もある．今回のセキュリティ強化対応策の実装においては，要求されるコストが度々変化する中「どの対策にどのくらいのコストを掛けることができるか？」といったコスト配分と実装の優先度を，Z社と調整し

ながら作業を実施した．

サイバーレジリエンスの観点に立ったセキュリティ・バイ・デザイン設計の提案・構築を指向した上で，対応優先順位とコスト負担のトレードオフを考慮しながらプロジェクトを推進することの必要性を強く感じている．同時に，支援士のような資格やスキルを持つ人材を自社で育成することや外部から調達することは，今後さらに重要視されることになる．

6. お わ り に

ランサムウエアなどによる近年のセキュリティインシデントでは，攻撃の高度化により甚大な被害が発生している．場合によっては，自社のみならずサプライチェーン上の関連企業をも巻き込んだ業務停止を引き起こすことがある．「セキュリティインシデントなど発生しないだろう」といった希望的観測を抱くのではなく，「いつかは必ず発生する」ということを前提とした準備をしておくべきである．そのためには，システム構築の構想段階からサイバーレジリエンス，セキュリティ・バイ・デザインの視点を盛り込むことが重要である．

2021 年に，BIPROGY は「Vision2030」として「デジタルコモンズを誰もが幸せに暮らせる社会づくりを推進するしくみに育てていく」ことを掲げた．デジタルコモンズは，社会的価値と経済的な価値の共創の場を構築し，その中で創発的な対話と実践を促して，共有財を広く利活用していくことを目指すコミュニティであり，その根幹として「安全・安心」の要素は欠かせない．デジタルコモンズを持続可能な共創基盤とするためにも，BIPROGY はサイバーレジリエンスやセキュリティ・バイ・デザインの視点を念頭に置いて，顧客業務システムの構築に取り組んでいく所存である．

最後に本稿執筆にあたり，ご協力およびご指導いただいたすべての皆様に深く感謝し，お礼申し上げる．なにより大きな被害に遭いながらも，前向きに復旧に取り組まれた Z 社の皆様，特に前線で踏ん張り続けた情報システム部の皆様に最大限の敬意を表する．

本稿が読者の関係する情報システムのセキュリティ強化の一助となれば幸いである．

＊ 1　ランサムウエアをサービスとして提供する形態や組織を指す．このような組織やサービスを利用することで，ランサムウエアを容易に利用し攻撃できる．

＊ 2　Active Directory のドメインのことを指す．Active Directory は，Microsoft が提供する Windows ネットワークにおけるディレクトリサービスで，ユーザー，コンピューター，その他のリソースを集中管理する仕組みである．

＊ 3　サイバー攻撃の一種．攻撃者が特定のシステムやサービスへのログイン認証を突破するために，パスワード候補となる文字列をリスト化し順番に試していく攻撃手法．

＊ 4　Computer Security Incident Response Team の略．企業や組織のコンピューターやネットワークが何らかのセキュリティインシデントに遭った場合，その対応を行う専門チームを指す．

＊ 5　セキュリティインシデント発生時の事実関係や経緯を詳細に分析・把握するための鑑識調査．具体的な調査内容としては，不正行為の調査，情報漏えいの調査，サイバー攻撃の解析などがある．

＊ 6　Endpoint Detection and Response の略．パソコンやサーバーなどのエンドポイントデバイスにおける不審な挙動や攻撃を検知し，迅速に対応するためのセキュリティソリューション．侵入後の脅威に対応するだけでなく，攻撃の被害を最小限に抑えることを目的とする．

＊ 7　Security Operation Center の略．サイバー攻撃の検知，分析，対策を講じる専門組織である．企業や組織の情報システムを監視し，サイバー攻撃の脅威から保護する役割を担う．

＊ 8　データのコピーを三つ作成し，それを二種類の異なるメディアで保存し，一つは別の場所（オフサイト）に保管するという，データのバックアップを徹底するためのガイドラインである．

＊ 9　ある時点でのディスクストレージ内のデータ状態を正確に記録し保存する機能．まるで写真を撮るようにその瞬間を切り取って記録し，後からその状態に戻すことができる．

＊10　システムの中でその部分が故障するとシステム全体が停止してしまうような，非常に重要なポイントのことを指す．SPOF を回避するためには，冗長化（二重化や多重化）が有効である．

＊11　脆弱性パッチとは，ソフトウエアのセキュリティ上の脆弱性を修正するためのプログラム．OS やアプリケーションなどのソフトウエアに脆弱性が発見された場合，開発者やベンダがこの脆弱性を修正するためのパッチを作成しユーザーに提供する．パッチ適用により攻撃者が脆弱性を悪用することを防ぎ，情報漏えいなどの被害を未然に防ぐ．

参考文献

［1］ 政府情報システムにおけるサイバーセキュリティフレームワーク導入に関する技術レポート，デジタル庁，2023 年 3 月，
https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/e2a06143-ed29-4f1d-9c31-0f06fca67afc/a84dbb17/20230411_resources_standard_guidelines_guideline_05.pdf

［2］ LockBit3.0 とは何者か？，サイカルジャーナル，NHK，2022 年 11 月，
https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci_cul/2022/11/special/lockbit-cyber-11/

［3］ 最近のサイバー攻撃の状況を踏まえた経営者への注意喚起，経済産業省，2022 年 12 月，
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/sangyo_cyber/wg_seido/wg_uchu_sangyo/pdf/001_07_00.pdf

［4］ 政府情報システムにおけるセキュリティ・バイ・デザインガイドライン，デジタル庁，2022 年 4 月，
https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/e2a06143-ed29-4f1d-9c31-0f06fca67afc/2a169f83/20220630_resources_standard_guidelines_guidelines_01.pdf

［5］ 情報処理安全確保支援士試験，独立行政法人情報処理推進機構，2023 年 6 月，
https://www.ipa.go.jp/shiken/kubun/sc.html

※　上記参考文献に含まれる URL のリンク先は，2025 年 7 月 8 日時点での存在を確認．

執筆者紹介　伊　藤　直　行（Naoyuki Itoh）

1989 年日本ユニシス(株)入社後，一貫して顧客業務システム構築に従事．情報処理安全確保支援士（登録番号第 024056 号），IT ストラテジスト．