

意匠設計用高性能グラフィック表示装置 「8008 グラフィックス・サブシステム」

High-Performance Graphics Display “ 8008 Graphics Subsystem ”
for Car Styling Application

稲 川 光 男

要 約 自動車の意匠設計業務向けに大画面，高精細表示を特徴とした “ 8008 グラフィックス・サブシステム ” を開発し，客先へ提供を開始した．

“ 8008 グラフィックス・サブシステム ” の構成品である大型・高精細液晶表示装置（LCD：Liquid Crystal Display）で実用化された最新の液晶表示技術，最先端半導体技術を活用したグラフィックス・アクセラレータの機能・性能について紹介する．

また，対話性を向上させるため，同時に製品化された液晶表示機能付きダイヤル入力装置についても紹介する．

Abstract Nihon Unisys, LTD. (NUL) has developed a new graphics subsystem (8008) that equips a large and high-resolution LCD (Liquid Crystal Display) panel, and has started to deliver them to major automobile companies. The 8008 Graphics Subsystem has been especially targeted for Car Styling applications in the automobile industry, and meets customer's requirements.

This paper presents the state-of-arts LCD and graphics accelerator technologies utilized in 8008 Graphics Subsystem. And also the dial input device developed for the 8008 graphics subsystem is introduced.

1. は じ め に

当社は，自動車の意匠設計業務向けに 3 次元 CAD 用グラフィック表示装置を長年に亘り提供してきた．今般，これまで提供してきた “ 8005 グラフィックス・サブシステム ” の後継機として最新の液晶表示技術と最先端半導体技術を活用した “ 8008 グラフィックス・サブシステム ” を製品化し，客先へ提供を開始した．

本グラフィックス・サブシステム（以降，8008）は，当社が提供する意匠設計用グラフィック表示装置としては，1979 年に発表した第一世代 AGS 4145 から数えて 4 世代目であり，自動車の意匠設計で重要となる①大画面，②フラット（低画像歪），③高解像度，④高表示品質の 4 大要件に加え，⑤高輝度，⑥高コントラスト，⑦高速表示といった，一層の使い易さも実現した．

2. LCD 技術の進歩

自動車の意匠設計業務では，デザイナーが意図した曲線，曲面を表示装置上で正しく評価できる事が重要で，図面を見るのと同じように，出来る限り大画面で，1/1 スケールに近い表示が行えることが要求される．また，表示装置上の歪みが評価に影響しないように，表示面がフラットで画像歪みが小さいことも求められる．

前機種である “ 8005 グラフィックス・サブシステム ”（以降，8005）を開発した 1995 年頃の表示デバイスは，全盛期の CRT（Cathode Ray Tube）と初期型の LCD とする選択肢があ

り、それぞれの特徴は表 1 に示す状況にあった。LCD は方式上表示面がフラットで、画像歪を発生しないという特徴があるものの、当時の技術では大型のディスプレイを作ることが困難であった。また、解像度が低く高精細表示に適さない、液晶の応答速度が低く動的表示に適さないといった問題もあった。

この様な理由から、8005 では CRT を選択し、高解像度で 28 型の大画面かつフラットな表示面を実現した。しかし、アナログ走査線方式であるために画像の歪が存在すること、また輝度・コントラストが低く使用する環境にやや制約があるなど、改善の余地を残していた。

その後、近年までの LCD 技術の著しい技術進歩によって、大型でかつ高解像度の液晶ディスプレイが実現できるようになった(表 1)。

表 1 ディスプレイ技術比較

要件	8005/CRT	初期型 LCD	現市販レベルの LCD	8008 高解像度 LCD
大画面	○	×	△	○
フラット(低歪)	△	○	○	○
高解像度	○	×	△	○
高輝度	△	△	○	○
高コントラスト	△	△	○	○
高速応答	○	×	△	○
高階調表示能力	○	×	△	○

○：満足 △：やや不満足 ×：不満足

現在市販されている LCD は CAD 用途に限定すると 22～24 型が最大サイズであり、8005 で採用された 28 型 CRT に比較すると、表示面積が 50～60% と作業性が犠牲となる。そこで、8008 では航空管制、医療、デジタルアーカイブ表示用途向けに開発された、28 型超高精細 TFT 液晶ディスプレイ・パネル¹⁾を採用した(図 1)。

この 28 型 LCD パネルは大画面、フラット、高解像度、高輝度、高コントラストを合わせ持つ高性能 LCD パネルであるが、意匠設計用のグラフィック表示装置として利用するためには、さらに改善すべき点があった。8008 で実現したこれらの改善について概要を以下に述べる。



図 1 8008 高解像度 LCD (左側) と 17 型 LCD (右側) の画像サイズ比較
(画面はハメコミ合成)

2.1 色の階調表現力向上

現在，一般的に使用されているフルカラーと呼ばれる表示装置では，RGB 三原色に対して，各色 256 の階調（8 ビット）を持たせ，加色混合により 1,677 万色（ $2^8 \times 2^8 \times 2^8$ ）の表示を可能としている．この様なフルカラー表示装置でも画面に単色（例えば赤）の滑らかなグラデーション（階調）画像を表示すると，階調境界が帯状に見えるマッハバンドと呼ばれる現象が発生し，意匠設計業務で重要な，曲面の評価が困難となる場合がある．8008 で採用した超高精細 LCD パネルは最大輝度が 8005 の CRT に比べ約 3 倍であること（8005 CRT : 80 cd/m²，8008 LCD : 210 cd/m²），また，アナログ走査線方式の CRT に対してマトリックス駆動のデジタル表示方式であることにより，隣り合った画素の輝度差が正しく表現されることから，一層マッハバンドが強調される特性を持っていた．そこで，マッハバンドを軽減し，曲面の評価を容易にすることを目的とし“擬似 10 ビット表示機能”を装備した．

グラフィック・コントローラから RGB それぞれ 10 ビットの入力を可能とし，システムとしては 10 億色の表示を可能とした．これは，RGB 各色 4 倍，1024 の階調表現力を持ったことになり，前述した約 3 倍の輝度差をカバーしてマッハバンドを軽減することが可能となる．しかし，現存する LCD パネルはその最終段である LCD 制御部が，各色最大 8 ビットでしか表現できない．8008 の LCD パネルも例外ではないため，10 ビット入力したデータを基に滑らかに 8 ビット変換する機構を装備することで，“擬似 10 ビット表示”を行うことを可能にした．この機構により，マッハバンドをほとんど認識できないレベルまで軽減することが可能となり，曲面の評価が容易となった．

擬似 10 ビット表示機構は，スクリーン上の隣り合うピクセルの色を誤差拡散することにより実現され，画像を面積として見た場合の，階調表現力を向上させる機能である．

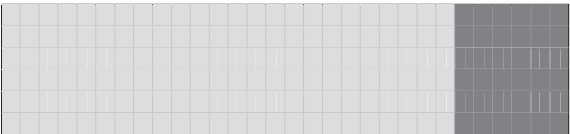
図 2 A は，左から右に暗く変化するグラデーションの入力ビデオ信号（10 ビット入力）である．図 2 B，2 C は，図 2 A の入力ビデオ信号におけるグラデーション表示の拡大図であり，

Bit_0 : x	Bit_0 : x	Bit_0 : x	Bit_0 : x	Bit_0 : x
Bit_1 : x	Bit_1 : x	Bit_1 : x	Bit_1 : x	Bit_1 : x
Bit_7 : 0	Bit_7 : 0	Bit_7 : 0	Bit_7 : 0	Bit_7 : 1
Bit_8 : 0	Bit_8 : 0	Bit_8 : 1	Bit_8 : 1	Bit_8 : 0
Bit_9 : 0	Bit_9 : 1	Bit_9 : 0	Bit_9 : 1	Bit_9 : 0

A : 入力ビデオ信号（10 ビット入力）



B : 擬似 10 ビット表示例



C : 8 ビット表示例

図 2 擬似 10 ビット/8 ビット表示の比較

一つの昇目が1画素を表している。図2Bが、擬似10ビット表示した例で、図2Cが、8ビット表示した例である。実際の画面上では画素ピッチが0.22mmで、輝度差も小さいため、マッハバンドを、ほとんど認識不能なレベルまで軽減する事が可能となった。

2.2 カラー調整機能

意匠設計作業では、設計対象物の形状を正しく表示する事のみならず、対象物に設定された色を正しく再現することが求められる。一方、LCDに限らず、CRTやプラズマ表示装置の様なディスプレイ装置は装置独自の色再現範囲を有しており、自然界に存在する全ての色を再現することが困難であること、また、装置そのものの個体差、同一装置でも経年変化による、色再現特性の変化が存在することが一般的に知られている。

近年これらの問題を解決し、より忠実な色再現を可能にするためのシステムとしてカラー・マネージメント・システム(CMS)の重要性が高まってきた。

一例として、Windows環境で採用されているCMSの概念を図3に示す。アプリケーション・プログラムの内部では、必要に応じたカラーの再現範囲を設定し、その範囲の中で作業を行う。一般的には、絶対色表現XYZまたはLab、Windows標準カラー・スペースであるsRGB、Adobe社標準カラー・スペースであるAdobeRGBなどが使われるが、色が重要でないアプリケーション・プログラムではカラースペースを特定しない三原色としてのRGBが使われることも多い。

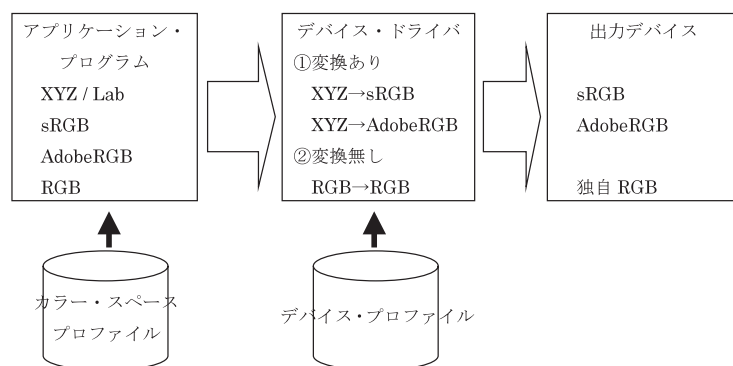


図3 CMSの概念

アプリケーション・プログラムから出力される色情報は、カラー・スペース・プロファイルが提供する情報を基にXYZ形式に変換され、出力装置用のデバイス・ドライバに渡される。そして、デバイス・プロファイルが提供する情報を基に正しい色が出力デバイスに出力される。この様に2種類の変換メカニズムを用いることで異なった出力デバイスであっても、その色再現範囲内であれば、より誤差の少ない色再現システムを構築することが可能になる。

8008では、さらに一歩進め、ディスプレイの個体差、経年変化による色差の発生を吸収し、個々のディスプレイが持つ色再現範囲を最大限に活用するための仕組みを提供している。図4に8008で提供するCMS概念図を示す。

アプリケーション・プログラムは絶対色表現XYZまたは8008のカラー・スペース・プロファイルである8008RGBを指定することで、8008の持つ色再現範囲を有効活用することが

出来る．カラー・スペース・プロファイルもデバイス・プロファイルも初期値は 8008 の標準値が設定されているが，専用のデバイス・プロファイル作成プログラムと，オプションで提供する測定用カラー・センサーを同時に用いることにより，測定時における LCD の特性を自動計測し，最適なデバイス・プロファイル・データを自動生成することができる．

この機能により，ディスプレイの個体差，経年変化を吸収し，最適な色を表示することが可能となった．しかし，デバイス・プロファイル機能の中で，色再現に重要となるガンマ補正値の表現範囲が十分な精度を持っていないため，8008 高解像度 LCD でその誤差補正を行えるようにガンマ誤差補正機構を備えた．

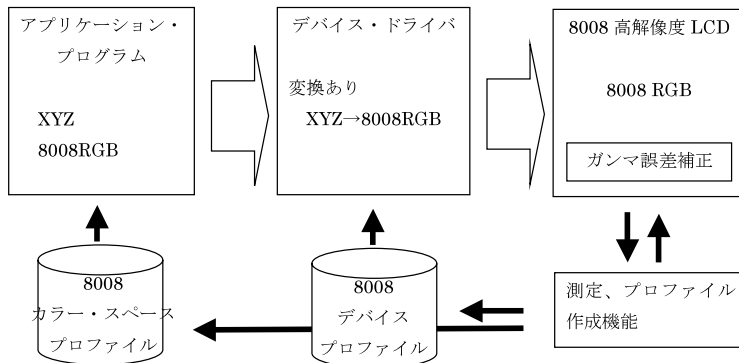


図 4 8008 CMS 概念図

2.3 ちらつき防止

自動車の意匠設計業務では，デザイナーが意図した形状をコンピュータ・システム上に作り上げる事が目的となるため，その形状的な特徴を現した曲線を入力，評価，変更し，さらに複数の曲線から曲面を生成していく作業が主体となる．このような場面では，線画を主体としたワイヤーフレーム表示が多用されることになる．

LCD で背景色を黒に設定し，ワイヤーフレーム・データを白色で表示した場合，表示されたデータを高速に拡大，縮小，移動，回転させると，画面がちらつく現象が発生することがある．これは，LCD に使われている液晶の応答速度が原因で，表示の明るさが一定でなく，明るくなったり，暗くなったりする事から発生する．（所定の明るさになる前に，表示位置が変わってしまうことに起因する．）液晶の応答速度，すなわち，あるレベルからあるレベルまで輝度が変化するために必要な時間は，輝度の変化量によって異なり，一般的に，最低輝度である黒から最高輝度である白に変化するとき最大の時間を要する．したがって，黒レベルを暗い灰色レベルに調整しておくことで，大幅にちらつきを軽減することが可能である．

8008 高解像度 LCD は，スクリーン上の操作画面（OSD：On Screen Display）を見ながら設定を行うことができる，黒レベル調整による液晶応答速度の調整機能を装備し，ちらつきの発生を軽減させている．

2.4 デジタル接続

前機種である 8005 では，グラフィック・コントローラとディスプレイの間を RGB 3 本のアナログ・ビデオ信号を用いて接続していた．一般の CRT が 130 Mhz 程度のビデオ信号を用い

ていたのに比較し、8005 CRT を駆動するためのビデオ信号は 360 MHz と高い周波数であった。これは解像度が 400 万画素と高いためであり、その結果ゴースト、反射等の問題が内在し、表示される画像品質を低下させる要因となっていた。

一方、LCD は内部がデジタル制御であるためグラフィック・コントローラ側からデジタル・ビデオ信号で接続することが望ましく、この考えを規格化し実現したものが、DVI (Digital Visual Interface) と呼ばれるデジタル接続規格である。DVI の利点は、アナログ接続で発生していた信号劣化、変換誤差などが原理的に発生せず、容易に高画質が得られることである。

8008 高解像度 LCD では高精細表示と高表示品質を両立するために、上記 DVI を用いてグラフィック・コントローラと LCD の間をデジタル接続している。しかし、DVI 規格は低～中解像度の LCD を対象とした規格であるため、8008 に採用するために複数本の DVI 接続線を用いて 8008 高解像度 LCD を駆動している。

2.5 画面 2/4 分割駆動方式

2.4 で触れたように、現存する DVI 規格には 1 接続線当たり、最大 1600 × 1200 画素を 60 Hz のリフレッシュ・レートで表示する、という制約がある。8008 で採用した高解像度 LCD は 2560 × 2048 画素を有しており、最大リフレッシュ・レートの 72 Hz で駆動するためには 4 接続線が必要となる。8008 高解像度 LCD では、この 4 接続線を用いた 4 分割駆動方式と、リフレッシュ・レートを 1/2 の 36 Hz に減じて、2 接続線で駆動する 2 分割駆動方式をサポートしている (図 5)。

複数画面として駆動した場合、分割部分で画像にズレが発生することがある。このズレは、画面上に表示された図形を拡大、縮小、回転するとき、分割部分の画像更新時期のズレにより発生するので、上下分割部分の更新時期を同期させることで、問題解消を図った。

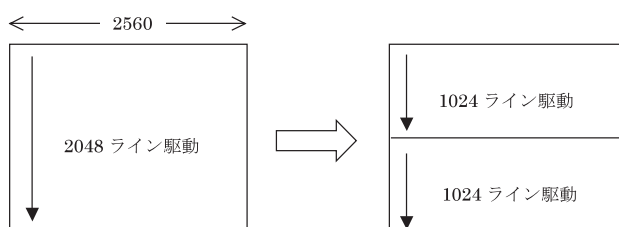


図5 液晶パネル走査方式(2分割駆動方式)

3. 最新半導体技術を活用したグラフィックス・アクセラレータ

8005 開発時、市場に存在するグラフィックス・アクセラレータは①図形描画速度、②アンチ・エイリアシング能力、③オーダー・インディペンデント・トランスペアレント機能、④Phongシェーディング機能、⑤反射マッピング機能など、意匠設計業務に必要とされる速度・機能・品質を合わせ持つ製品が皆無であった。特に 3 次元 CAD の分野では UNIX ワークステーションが主に使用されており、ワークステーション・メーカー独自の 3 次元グラフィックス機能が実現されていた。この様な状況から、8005 では専用のグラフィックス・アクセラレータを自社開発し、市場に提供してきた。このグラフィックス・アクセラレータには自社開発した 5 種類の LSI が 19 個搭載されていたが、現在の半導体技術を利用すると LSI 2 個程度に収まる回

路規模であった。

半導体の技術進歩により、3次元CADのプラットフォームはUNIXワークステーションから、インテル社のマイクロプロセッサ技術を利用したPCに取って代わられる時代となった。マイクロプロセッサの世界では、インテル社ゴードン・ムーア氏が提唱した“半導体の集積度は18～24ヶ月で2倍になってゆく”というムーアの法則が有名である。これは半導体の微細加工技術が18～24ヶ月で1世代進歩し、同じチップ・サイズに2倍の回路が搭載できるという事を予測したものである。回路間の距離も短くなることから動作周波数も20～30%程度改善されてゆく。しかし、近年開発・販売されるグラフィックス・アクセラレータは、その利用するチップ・サイズを大きくし、内部回路の並列化による高速化、より高度なグラフィック処理を行うための機能追加など、ムーアの法則以上の速さで進歩していると言える。

最新の市販グラフィックス・アクセラレータを機能面から見てみると、8005でLSI上に実装したほとんどの機能が実現され、しかも図形描画速度は10倍以上を達成している。したがって、8008では開発期間と開発コストを抑え、システムを低価格で客先提供するため、市販のグラフィック・アクセラレータ・チップを採用してシステム化するものとした。

以下に、8008用グラフィックス・アクセラレータの①機能、②性能、③品質について概観する。

3.1 機 能

業界標準のグラフィックスAPIであるOpenGLとマイクロソフト社のDirectXがサポートされており、多くのアプリケーション・プログラムを変更なしに、そのまま動作させることができる。また、DirectX 8.1から提供が開始されたプログラマブル・シェーダ機能を装備し、それを使用することにより、グラフィックス処理機能をカスタマイズすることが可能である。プログラマブル・シェーダは頂点シェーダとピクセル・シェーダから成り、頂点シェーダでは表示するポリゴン・データの各頂点ごとの処理である座標変換、ライティング計算処理などを変更・追加することが可能であり、ピクセル・シェーダでは画素（ピクセル）単位の処理であるテクスチャ・マッピングやテクスチャ・ブレンディング処理を変更・追加することができる。この様にグラフィック・アクセラレータの機能をカスタマイズすることにより利用者はそのアプリケーション・プログラムにあわせてシステムを最適化することが可能となった。また、従来はコンピュータ側の処理とされていたレイトレーシング・アルゴリズムやフォトン・マッピング・アルゴリズムによる画像生成、物体間の干渉チェックなどをプログラム・シェーダーで行うといった研究発表も見られるようになってきた。

前述した意匠設計業務に必要な機能であるオーダー・インディペンデント・トランスペアレント機能、Phongシェーディング機能、反射マッピング機能などはグラフィックス・アクセラレータの標準機能として実現されている。

3.2 性 能

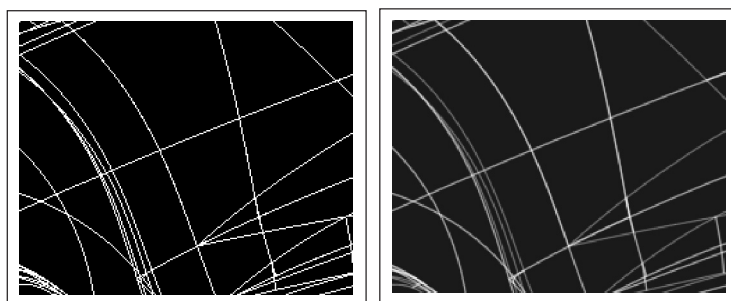
8005グラフィックス・アクセラレータの描画速度は、400万ベクトルまたはポリゴン/秒であったが、設計データの増加をカバーし、より快適な操作環境を実現するために10倍の4000万ベクトルまたは4000万ポリゴン/秒を8008の目標仕様として設定した。

結果として、8008で採用したグラフィックス・アクセラレータは実測値で6,000万ベクトル

またはポリゴン/秒を超える性能を達成しており、更なる設計データ量の増加またはより細密なモデル・データを用いた表示精度の向上にも対応が可能である。

3.3 品質

ラスタースキャン型ディスプレイやLCDの様なマトリックス駆動型のディスプレイでは線が斜めに表示された場合、または面のエッジが斜めに表示された時に階段状のギザギザが視認出来る。この現象をエリアシングと呼び、意匠設計作業で重要な線、面の評価が正しく行えない原因ともなる。そこで、エリアシングを緩和し、滑らかな線、面のエッジを表示する技術であるアンチ・エリアシング機能が重要となる。自社開発した8005では、十分なアンチ・エリアシング品質を確保するために、1画素を64のサブピクセル・レベルに分割して各画素の色を算出する機能が実現されていた。半導体技術が進歩した現在においても、コスト最優先で開発されてきたPC用のグラフィックス・アクセラレータでは、8005の品質レベルまで到達している製品が見当たらない。当初の調査では4~8サブ・ピクセルの精度を達成している製品が最も高度なものであったが、8サブ・ピクセルでは、十分なアンチ・エリアシングの効果が期待できず、8005開発時の経験から16サブ・ピクセル・レベルのアンチ・エリアシング機能を8008の目標仕様として設定した。この目標仕様は現在採用しているグラフィックス・アクセラレータで実現されており当初の目標品質を達成することが出来た(図6)。



アンチエリアシング・オフ

アンチエリアシング・オン

図6 アンチエリアシング・オン/オフ図

4. ダイアル入力装置

PCの入力装置としては、文字入力用のキーボードおよび画面上の位置入力用ポインティング・デバイスとしてマウスが一般的に利用されている。イラスト、画像処理のアプリケーションでは手書き図形や色を入力するためにタブレットとスタイラス(ペン)が使われることもある。

8008が利用される意匠設計作業では、画面に表示した図形を様々な角度から見て形状を評価するため、表示図形を頻繁に拡大・縮小、移動、回転する必要があり、直感的な対話入力を可能にするためダイアル入力装置が用いられる。残念ながら、市場にはこのような入力に利用できるダイアル入力装置が存在せず、操作ガイド機能を持った8008グラフィックス・サブシステム専用のダイアル入力装置を製品化した(図7)。

一つのダイアル入力装置には、操作(回転)可能なダイアル・ノブが8個備えられており、

それぞれの用途をガイド表示するための小型液晶表示部を4個備える。8008 グラフィックス・サブシステムには最大8台のダイヤル入力装置を同時に接続可能である。また、ダイヤル・ノブを回すと、「ダイヤル・ノブの番号」と「回転量に応じた値」がダイヤル入力装置からPCに入力され、その値をもとにアプリケーションから画像の移動、回転等の処理が実行される。

以下にダイヤル入力装置の特徴について述べる。

1) 液晶表示機能

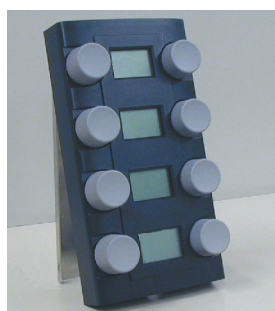
小型液晶パネルを4枚備え、ダイヤル・ノブ毎に100×28ドットの表示ができる。この液晶パネルには、アプリケーションから任意の文字や図形を表示することが可能で、操作ガイドとして利用できる。

2) USBインタフェース

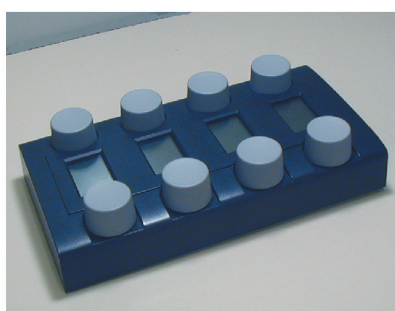
PCとの接続は標準的なUSBインタフェースを採用し、プラグ・アンド・プレーを実現している。専用のUSBハブは8008高解像度LCDの背面に取り付けられ、PCとの接続を容易にしている。

3) 多様な操作性

可動式のスタンド機構を備えており、スタンドを出すことによりダイヤル入力装置を立てた状態で、また、スタンドをたたんだ状態では、ダイヤル入力装置を机上に水平に置いた状態で操作でき、利用者の使い勝手に合わせた使用法が可能である。



立てた状態



水平に置いた状態

図7 ダイヤル入力装置

5. お わ り に

8008 はこれまで日本ユニシス(株)が蓄積してきた、自動車の意匠設計業務向け3次元ディスプレイのノウハウと、最新のLCD技術、最新の半導体技術の成果であるグラフィックス・アクセラレータを融合させて作り上げた最高品質のグラフィック・ディスプレイ・サブシステムであると自負している。今年度から客先に導入が進み本番稼動を迎えているが、8008が提供する改善された機能、性能が客先で有効活用され、予想以上の効果を発揮してくれることを望んでいる。

また、自動車の意匠設計に要求される機能、性能、表示品質は年々高度となっており、現在の技術をしてても十分ではない部分も存在している。今後も、その時々最新の技術を出来るだけ早く取り入れ、その時点で最適な製品を、客先に提供できるよう努めていきたい。

- 参考文献** [1] 伴 厚志他, 超高精細 TFT 液晶ディスプレイ (28 型 QSXGA) の開発, シャープ
技報, 第 80 号, 2001 年 8 月, pp 47-50.
[2] 新編 色彩科学ハンドブック, 第 2 版, 日本色彩学会編, 東京大学出版会, 2001 年
4 月 20 日, pp 87-129, pp 257-303.

執筆者紹介 稲 川 光 男 (Mitsuo Inagawa)
1957 年生. 1981 年日本ユニシス(株)入社. 現在自動車
産業事業部トヨタ統括部 CG システム開発室において
8008 グラフィックス・サブシステムの開発作業に従事.