

数値シミュレーション結果の  
可視化アーキテクチャ

安藤 利光 阿部 仁 河辺 峻  
日立製作所神奈川工場

スーパーコンピュータS-820の付加機構として、動画像出力システムを開発した。S-820の拡張記憶(E S)に格納したデジタル画像データを、50MB/sの専用高速インタフェースでESから直接出力し、NTSC等のアナログ映像信号に変換して、ビデオレート(30画面/秒)で出力する。これにより、スーパーコンピュータの数値シミュレーション結果の可視化処理の、大幅な効率向上を達成した。

Architecture for Visualization  
of Numeric Simulation Results

Toshimitsu Ando, Hitoshi Abe, and Shun Kawabe

Kanagawa Works, Hitachi, Ltd.  
1, Horiyamashita, Hadano-shi, Kanagawa-ken, 259-13 Japan

A scientific animation graphics system has been developed as an optional feature for the Hitachi supercomputer S-820. Over a special high-speed interface it reads, at a transfer rate of 50 Mbytes/s, the digital image data stored in the extended storage of the S-820, converts the data into the analog video (e. g., NTSC) signal, which is then sent out at the video rate (30 frames/s), and thus significantly speeds up the visualization process of numeric simulation results generated by the supercomputer.

# 1 まえがき

近年、スーパーコンピュータが生成する膨大な数値シミュレーション結果を、コンピュータグラフィックスを用いて可視化し、画像により解析結果の評価、検討をすること（サイエンティフィックビジュアラリゼーション）が広く行われるようになってきた。特に数値シミュレーション結果の時系列的变化の確認のために、これを動画（アニメーション）にすることが、流体解析等の分野を中心に年々盛んになっている。

ところが、画像データは情報量が多いため、アニメーションは大量の画像データを蓄える大容量メモリ、高速スループットのインタフェースを必要とする。現在一般的に行われているアニメーション作成方法は、コマ撮りと呼ばれる手法で、CPUから通常のチャンネルインタフェースを介して1画面（コマ）づつ外部画像メモリ（フレームバッファ）に蓄え、1コマづつVTRや16mmフィルムに録画していくものである。[1]

コマ撮りでは、1コマの静止画を録画するのに、数秒から数分かかる。しかしアニメーションは、1秒間30コマ程度必要とするので、例えば30秒間（900コマ）のアニメーションを録画するのに、数時間以上要し、非常に効率の悪いものであった。このため、効率的なアニメーション作成ツールの開発が強く望まれていた。

本論文では、上記要求に応えるために開発した、スーパーコンピュータS-820の付加機構である動画像出力システムについて述べる。動画像出力システムは、拡張記憶（ES）に格納したデジタル画像データを、ビデオレートで、NTSC等のアナログ映像信号へ変換し、VTRに録画、モニタ表示することを実現した。これにより従来のコマ撮りに比べ、アニメーション作成効率の大幅向上を達成した。

図1にスーパーコンピュータを用いた数値シミュレーション結果の可視化処理の流れを示す。

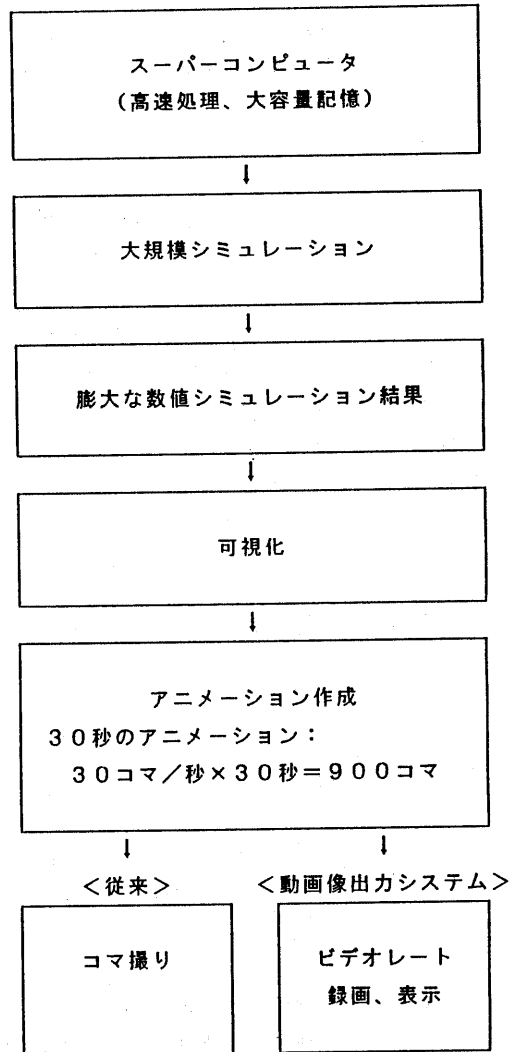


図1 スーパーコンピュータによる  
数値シミュレーション結果可視化処理の流れ

## 2 動画像出力システム概要

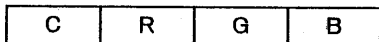
### 2.1 設計方針

動画像出力システムの開発にあたって、以下の方針を立てた。

#### (1) NTSCテレビ信号出力

本システムの出力は、NTSC規格のアナログ映像信号とし、スーパーコンピュータS-820から直接市販のVTR、テレビモニタ等に接続することを可能とする。

図2に本システムでの1画素のデータ形式を示す。1画素あたり、R(赤)、G(緑)、B(青)の色情報各1Bと制御情報1Bの計4Bで構成した。



C：制御情報

RGB：色情報(各8ビット)

図2 1画素のデータ形式

1画面のデータ形式は、NTSC規格に準拠し、表示される縦横比が1:1になるよう縦横の画素数を決定した。1画面のモニタに表示される有効画素は650×484画素である。

(2) 50MB/sの高速インターフェースの実現  
スーパーコンピュータS-820には、最大容量12GB、対主記憶データスループット2GB/sのESを有する。[2]

前記画像形式で、ビデオレートでNTSC規格映像信号を出力するために、約50MB/sのスループットが必要となる。従来のチャンネルインターフェース(数MB/s)では不十分であるが、S-820のESの高速スループット2GB/sを

利用して、50MB/sのスループットを実現することとした。

#### (3) 大容量フレームバッファの実現

30秒のアニメーションを作成するのに、前記画像形式で約1.5GBの画像データになる。従って、リアルタイムにアニメーションを録画、表示するには、1.5GBの大容量フレームバッファを必要とする。最大12GBと大容量のS-820のESを、フレームバッファとして用いることにした。

### 2.2 システム構成

動画像出力システムは、以下のものから構成される。ハードウェア構成を図3、ソフトウェア構成を図4に示す。

#### (1) ハードウェア

- ①動画像出力機構(画像データ出力制御)
- ②NTSCエンコーダ(アナログ映像信号変換)
- ③ビデオ装置(VTR、カラーモニタ等)

#### (2) ソフトウェア [3] [4]

- ①SGRAFE2(シミュレーション結果の可視化プログラム)
- ②KGRAFE2(GKS準拠グラフィックスサブルーチンパッケージ)
- ③KGRAF/MOVIE(アニメーション出力用グラフィックスサブルーチンパッケージ)
- ④VOS3/HAP/ES(オペレーティングシステム)

アニメーション生成の手順は以下のように行われる。

- (1) 数値シミュレーション結果の数値データを前記ソフトウェアにより画像データに変換し、ESに格納する。

- (2) 画像データを動画像出力機構によりESから50MB/sのスループットで読みだし、NTSCエンコーダでアナログ映像信号に変換し、VTR、モニターに対してビデオレート(30コマ/秒)で出力する。

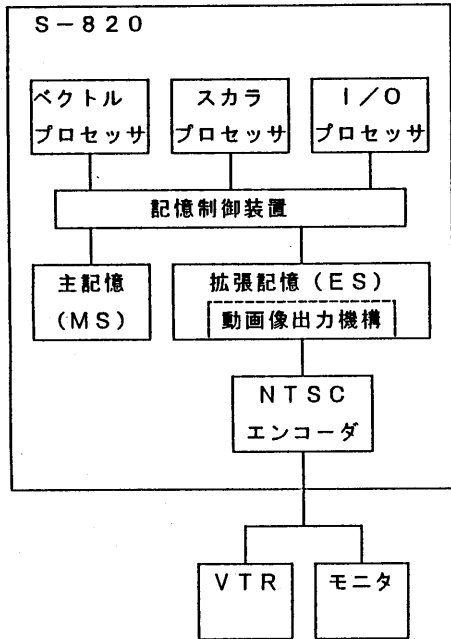


図3 動画像出力システムハードウェア構成

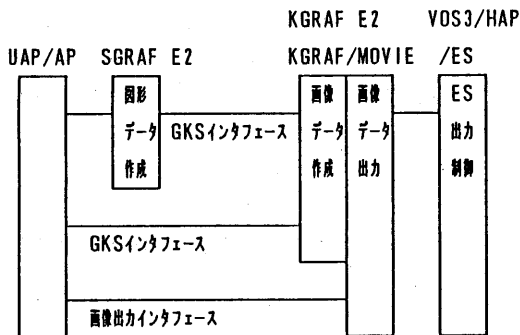


図4 動画像出力システムソフトウェア構成

## 2.3 録画方式

動画像出力システムには、一括撮りとつなぎ撮りの2つの録画方式がある。

### (1) 一括撮り

使用可能なES容量分だけ画像データをESに格納し、アニメーションを連続・一括して出力する録画方式を一括撮りと呼ぶ。本方式ではVTRは人手操作する。一括撮りは、1ユーザが使用可能なESの割当て量が少ないときなど、長時間のアニメーションが作成できない場合がある。このため本システムでは、つなぎ撮りと呼ぶ方法を設けた。表1にアニメーション出力時間とES容量の関係を示す。

出力時間	画面数	ES容量
10秒	300	500MB
20秒	600	1GB
1分	1800	3GB
4分	7200	12GB

表1 アニメーション出力時間とES容量

### (2) つなぎ撮り

画像データを複数の使用可能なES容量単位に分割し、複数回に分けてVTRに自動的に編集録画する方法をつなぎ撮りと呼ぶ。(1コマ毎につなぎ撮りを行えば、コマ撮りとなる。) つなぎ撮りを実現するために、動画像出力機構とVTR間に専用の同期制御インターフェイスを設けた。

## 3 動画像出力システムのハードウェア

### 3.1 新設命令

ESからCPU外部の外部装置(VTR、モニ

タ)にデータを出力するために、新設命令として STRTXT (Start Extended Storage & External Transmission) 命令を追加した。STRTXT 命令は非同期型命令であり、CPU は本命令を発行すると、その終了を待たずに後続命令の処理に移る。ES から外部装置に対する転送が終了すると、CPU に割り込みの形で報告する。図5に STRTXT 命令の命令形式を示す。

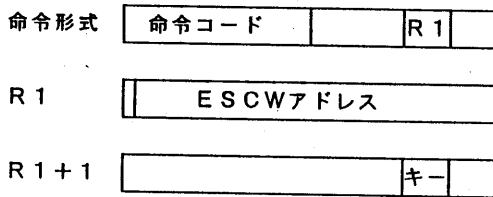


図5 STRTXT 命令の命令形式

R1 の汎用レジスタ (GR) には、ES からの画像出力を制御するコマンド語である ESCW コマンド語 (ESCW) を格納する MS アドレスを指定し、(R1+1) の GR には MS 保護キーを指定する。

図6に ESCW 及び、画像出力の ES アドレスを指定する間接データアドレス語 (IDAW) の形式を示す。繰返し数は1画面を繰返し出力する回数を指示し、これにより画面のスローモーション表示、静止表示が可能となる。

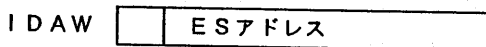
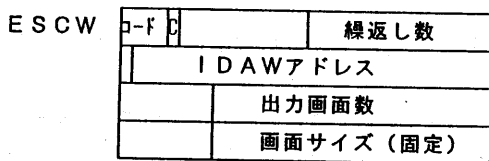


図6 ESCW、IDAWの形式

### 3.2 動画像出力機構

ES に内蔵される動画像出力機構は、ES に格納された画像データを 50MB/s の一定したスピードで NTSC エンコーダに送出する。また動画像出力は、数秒から数分と CPU にとって非常に長い時間 ES をアクセスするため、従来の ES 同期転送 (FORTRAN の中間ファイルアクセス用)、非同期転送 (OS のスワッピングアクセス用) との同時動作を実現した。

### 3.3 NTSC エンコーダ

NTSC エンコーダは、ES より転送されるデジタル画像データ (1 画素あたり R、G、B 各 1B + 制御情報 1B) をデジタル-アナログ変換し、その後 NTSC 規格のアナログ映像信号にエンコードする。この映像信号を通常と同軸ケーブル (5C-2V 形) で、VTR、モニタ等に接続する。本 NTSC エンコーダは、放送業務用の VTR、モニタに出力できる品質を持った NTSC 規格信号を実現し、また映像出力の種類は NTSC 以外の各種の VTR、モニタに対応できるように、RGB、S-VHS、ベータカム VTR 用の映像信号も出力する。(表2)

出力信号の種類	対応する VTR、モニタ
1 NTSC	11インチ VTR、Uマチック VTR VHS VTR、モニタ
2 Y/C	S-VHS VTR
3 Y/R-Y/B-Y	ベータカム VTR
4 R/G/B	RGB 入力付きモニタ

Y : 輝度

C : 色信号

R-Y / B-Y : 色差信号

R / G / B : 色 (赤 / 緑 / 青) 信号

表2 出力信号と映像機器

## 4 動画像出力システムのソフトウェア

### 4.1 SGRAF E2

SGRAF E2 (Scientific Graphic Facilities Extended version 2) は数値シミュレーション結果である数値データのグラフィックコマンドデータ列を作成する。ユーザは以下のいずれかの方法でアニメーションを作成できる。

(1) アニメーション作成に必要な処理をすべてSGRAF E2の提供するサブルーチンをコールするFORTRANプログラムを作成し、これを実行して作成する。(バッチモード)

(2) アニメーション画面の作画属性を対話インタフェース機能で形式ファイル化し、これと動画像出力サブルーチンとを組み合わせる。(インターラクティブモード)

### 4.2 KGRAF E2

KGRAF E2 (Kernel Graphic Functions Extended version 2) はGKS規格に準拠した、コンピュータグラフィックスのサブルーチンパッケージである。KGRAF E2はVTRを仮想的なワークステーションとみなし、これに対する図形の出力として動画機能を実現している。VTRの仮想ワークステーションとしての主な特性を以下に示す。

- (1) 表示画面サイズ：484(縦)×650(横)  
=314600画素
- (2) 表示色：1670万色(赤(R)、緑(G)、青(B)各256階調で指定)
- (3) 出力プリミティブ：線(8種)、多角形
- (4) マーカ：13種
- (5) 塗りつぶし：54種

### 4.3 KGRAF/MOVIE

KGRAF/MOVIE (Kernel Graphic Functions/MOVIE facility) は、

(1) KGRAF/E2によって作成された論理図形データ形式及び、ユーザが作成したRGB形式の動画用画面を、NTSCエンコーダがNTSCテレビ信号に変換可能な、RGB形式のラスタデータに変換する。

(2) RGB形式のラスタデータに変換した動画用画面を、1コマ単位にESに格納する。

(3) ESに格納された動画用画面を、VTR、モニタに出力する。

### 4.4 VOS3/HAP/ES

VOS3/HAP/ES (Virtual-storage Operating System 3 / HAP / Extended System Product)はS-820のOSである。KGRAF/MOVIEをサポートするために以下の機能を追加した。

- (1) システムリソースの確保/解放
- (2) ESアクセスとメモリ管理機能
- (3) ESからの外部転送機能

図7にこれらソフトウェアの動画像出力手順の概要を示す。

## 5 性能評価

表3に示すように、以下の条件では本動画像出力システムは従来のコマ撮りに比べ、20~30倍のアニメーション作成のターンアラウンド時間の短縮を実現した。

- (1) ラスタデータの作成完了からアニメーション作成完了までを対象とする。
- (2) 作成したアニメーションの長さ：30秒

## 6 系 吉 言

本報告では、数値シミュレーション結果のアニメーション作成ツールとして、スーパーコンピュータのESとビデオ装置を結合したシステムについて述べた。最近数値シミュレーション結果の可視化技術は、ますます重要になものとなっている。今後もこれらの要求に応えていくために、更に努力していく所存である。

## 参 考 文 献

- [1] 倉持；「CGシステム適用事例」情報処理学会第36回全国大会予講集 pp2125-2126(1988)
- [2] Wada, H, et al, 'Performance Enhancement by Extended Storage on Hitachi Supercomputer S-820 System', Proceeding of the Fourth International Conference on Supercomputers, Santa Clara, pp. 271-278, 1989
- [3] 荒砥, 他；「CG画面の一括出力による動画画像出力システム」情報処理学会第39回全国大会予講集 pp924-925(1989)
- [4] 矢島, 他；「スーパーコンピュータとサイエンティフィックビジュアライゼーション」日立評論, 72, 3, 293-300(1990)

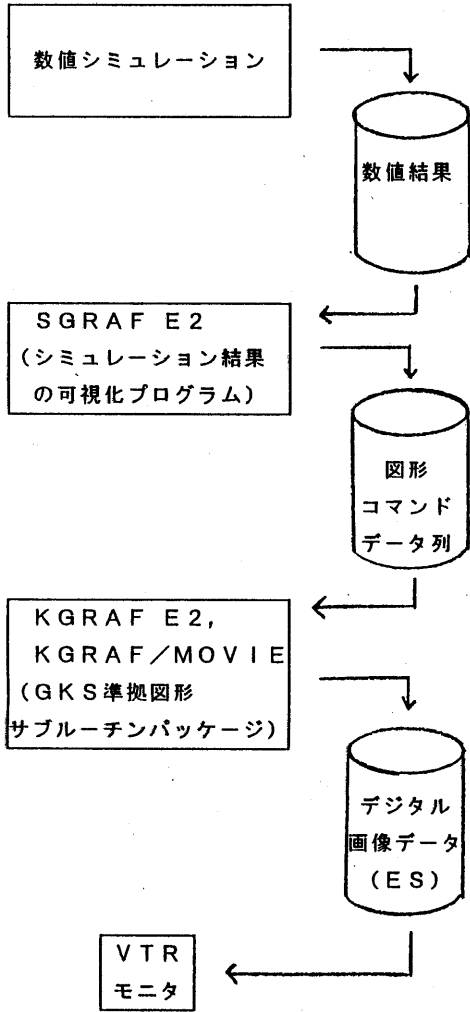


図7 ソフトウェアの動画像出力手順

(3) 使用マシン：HITAC S-820

動画システム	平均ターンアラウンド
本動画像出力システム	5~10分
コマ撮りシステム	150~200分

表3 アニメーション作成ターンアラウンド時間