

委員会報告

スーパーコンピュータ利用環境の現状と展望

STATE AND FUTURE SCOPE OF SUPERCOMPUTER CIRCUMSTANCES

構造工学委員会 非線形解析小委員会

By Subcommittee on Nonlinear Analysis, Committee on Structural Engineering

1. はじめに

スーパーコンピュータは、その時点で他の計算機に比べて著しく性能の優れた計算機という意味では昔から存在したが、いわゆる現在いわれている意味でのそれは、CDC社より独立したS. Crayが中心となって開発したベクトル・パイプライン型のCRAY-1が最初であり、その第1号機はアメリカのロス・アラモス国立研究所に1976年に納入された¹⁾。その後、多重プロセッサ方式の採用により1984年にはCRAY X-MP/4において1 GFLOPS (1 GFLOPS = 10^9 FLOPS, FLOPS: 1秒当たりの浮動小数点演算回数)の演算速度が達成された。1988年に発表されたCRAY Y-MPは1~8 CPU構成にシリーズ化されており、CPUの数に応じて理論最大性能は0.5~4 GFLOPSと変化する。現在の最大機種構成はCRAY Y-MP 8/8128である²⁾。

わが国においても、1980年代に入って各メーカーがCRAY機に対抗し得るスーパーコンピュータを次々に発表し、民間企業でもスーパーコンピュータが続々と導入されるようになってきた。

とはいうものの、高価なスーパーコンピュータの企業内運用・利用形態を考えると、パーソナルコンピュータ(PC)やエンジニアリングワークステーション(EWS)等とは異なり、複数の部署による共同利用が最も現実的であると思われる。このような観点からみると、共同利用の形態をとっている国立大学付属大型計算機センターの実状調査を行うことは意義深いことである。これら大型計算機センターはこれまで、わが国における大型コンピュータシステム運用に関する先導的役割を果たしてきており、またすでに導入・利用がなされているスーパー

コンピュータの利用環境についても示唆するところが大きいと考えられる。

したがって本報告では、国立7大学に設置されている大型計算機センター等でのスーパーコンピュータ利用の現状を調査・整理し、さらに建設会社におけるスーパーコンピュータによる実務に沿った解析例を紹介することによって、土木工学分野におけるスーパーコンピュータ利用の現状紹介とその将来展望とについての検討を行うこととする。

なお、現時点においては、出荷台数等の点からもCRAYスーパーコンピュータが世界的にみて最も実績を上げており、自動車業界を中心にして国内でも多くの企業に導入されているが、個々の企業内での利用環境や利用状況を把握することは容易ではない。また、CRAY機は今のところ国内の大学に導入された例はない。このため、本報告ではCRAY機について十分取り上げることができなかったことをあらかじめ付記する。

2. 大学におけるスーパーコンピュータ導入の経緯

(1) 導入の経緯と現在の機種

国立7大学の大型計算機センターは共同利用であり、設置大学所属の利用者以外に、近隣の国公立・私立大学等を中心とした非常に多数の利用者を抱えているのが特徴である。

現在、北海道大学および東京大学の大型計算機センターではスーパーコンピュータ HITAC S-810/820 システムを設置しており、東北大学および大阪大学では NEC SX システムが、また、名古屋大学、京都大学および九州大学では FACOM VP システムが稼働中であ

表一 各大学のスーパーコンピュータの基本性能^{1)~9)}

	東京大学大型計算機センター	京都大学大型計算機センター		東北大学大型計算機センター	東京工業大学総合情報処理センター
	HITAC S-820/80	FACOM VP-400E	VP-200	NEC SX-2N	CDC-ETA10
設置台数	1	1	1	1	1
CPU数	1	1	1	1	8
ピーク性能	3 GFLOPS	1714 MFLOPS	553 MFLOPS	1140 MFLOPS	380 MFLOPS/CPU
マシンサイクル	4 ns	7 ns	7.5 ns	7 ns	10.5 ns
主記憶容量	512 MB	256 MB	64 MB	256 MB	128 MB/CPU
拡張記憶容量	4 GB	-	-	2 GB	2 GB (共有メモリ)
ベクトルレジスタ	128 KB	128 KB	64 KB	80 KB	-
パイプラインの構成	加算・論理=4 乗算・加算=4 除算=1 マスタ演算=1 n'140-D=4 n'140-D/ST7=4	加算・論理=1 乗算&加算・論理=1 除算=1 マスタ=1 0-D/ST7=1 n'1714の太さ4	加算・論理=1 乗算=1 除算=1 マスタ=1 0-D/ST7=2 n'1714の太さ2	n'140演算パイプライン (加算・乗算・論理・シフトを1組)=4 ・スカラーパイプライン=1	加算・乗算=2/CPU 各n'1714ごとに加算・乗算・除算 論理・マスタのsub-unit有。Link機能により除算を除くこれらの演算は主記憶にデータを戻すことなく連続して2種類の演算が可能。
稼動開始時期	1988年1月	1987年11月	1985年11月	1989年2月	1988年10月
備考	FLOPS:一秒あたりの浮動小数点演算回数, ns:10 ⁻⁹ 秒, GB=10 ⁹ MB=10 ⁶ KB=10 ³ Byte				

る。ここではそれぞれを代表して、東京大学、京都大学および東北大学のシステムを取り上げる。

国立7大学の大型計算機センターでは国産機を導入しているのに対し、東京工業大学の総合情報処理センターは、アメリカ製のCDC-ETA10を導入している。前述の各大型計算機センターと違って共同利用ではなく、利用資格者は同大学に所属しているものに限られており、同列に比較して論ずることはできないが、非国産機種種の導入例として併せて取り上げることとする。

東京大学大型計算機センターでは1983年11月に同センターとしては初のスーパーコンピュータ HITAC S-810を中央処理システム内に導入し、その後、1988年1月にS-820に変更している³⁾。

京都大学大型計算機センターでのスーパーコンピュータの導入は1984年4月、主システムの1つであったM-380をVP100に置き換えたときに始まる。1985年11月、これがVP200としてレベルアップされた後、1987年11月に現在のVP400Eが運転を始めた⁴⁾。

東北大学で最初のスーパーコンピュータSX-1の共同利用が開始されたのが1986年5月。その翌年には汎用コンピュータも現在のACOS2020に替わり、1989年2月には、スーパーコンピュータもSX-2Nに更新された⁵⁾。SX-2NはビジュアルシミュレーションシステムであるSX View systemを搭載しており、三次元グラフィックス装置に表示された画像を光ディスクにコマ撮りすることができアニメーションの制作を容易にしている。

東京工業大学総合情報処理センターでは1988年10月にCDC-ETA10を導入している⁹⁾。ETA10は、ベクトルレジスタをもたず、また、仮想記憶方式を採用しているなどの特徴をもつ。

各スーパーコンピュータのカタログ性能および稼働開始時期を表一に示す。一般に、主記憶容量等はオプションで拡張できるようになっていることが多く、本表の数値は、各大学における個々のコンピュータの値であり、必ずしもカタログにおけるフルオプション状態の値ではない。また、パイプラインの構成の欄は、各メーカーのカタログに記載されている記述方法をとっている。

(2) 各大学センターの現在のシステム構成

現在のところ、東京大学、京都大学、東北大学等の大型計算機センターでのスーパーコンピュータは汎用機(HITAC M-680H, FACOM M-780/30, ACOS-2020等)のバックエンドプロセッサとして利用されている。つまり、利用者が直接端末からアクセスするのは汎用機であり、その汎用機に命令してジョブをスーパーコンピュータに処理させるという方式である。これは、利用者が通常使用する汎用機のシステムコマンドでスーパーコンピュータを利用できるように配慮した運営の結果であり、利用者は異なったシステムコマンドを覚える必要がない。これに対して共同利用センターではない東京工業大学総合情報処理センターのCDC-ETA10はスーパーコンピュータ自身がOSをもち、単体で稼動するので、利用者がネットワークを通して直接アクセスすることができる。

各大学センターのシステム構成を図一に示す。

3. 大学におけるスーパーコンピュータ利用環境

(1) 利用形態

各大学のスーパーコンピュータのオペレーティングシステム(OS)、使用可能プログラム言語、およびJOBクラスを表二に示す。

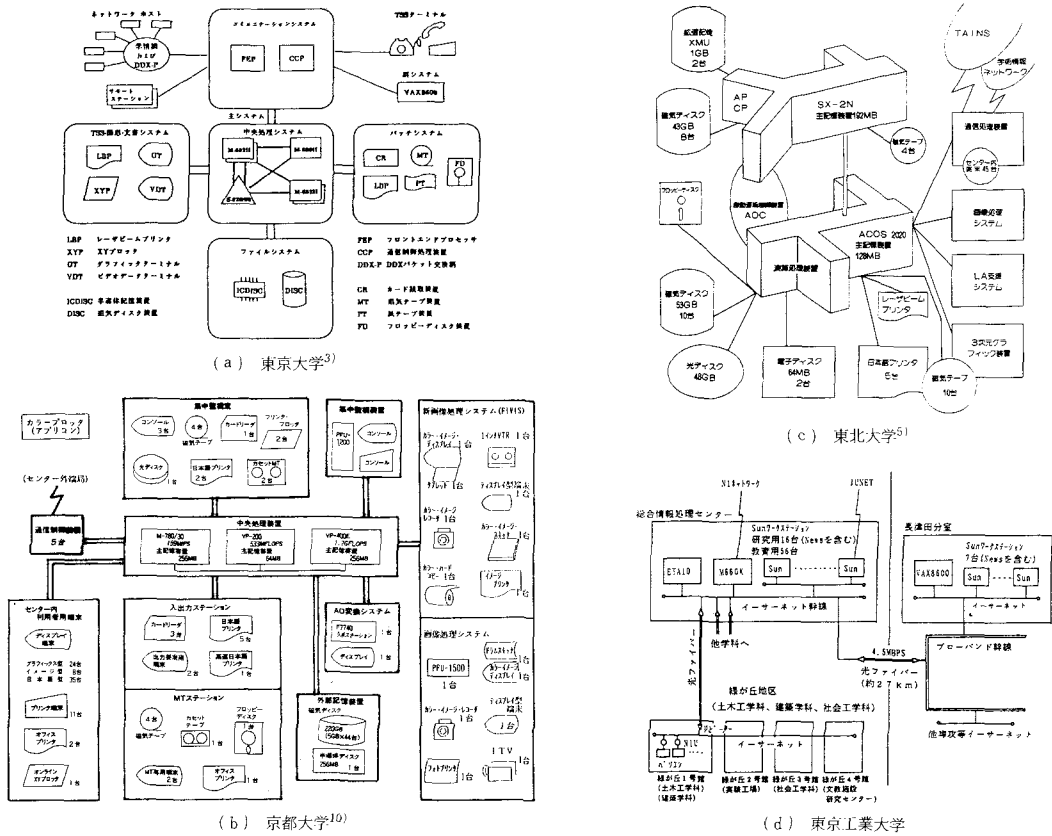


図-1 各大学のスーパーコンピュータを中心としたシステム概念図

表-2 スーパーコンピュータのOS, プログラム言語, ジョブクラス^{11)~14)}

	東京大学大型計算機センター	京都大学大型計算機センター	東北大学大型計算機センター	東京工大総合情報処理センター
	HITAC S-820/80	FACOM VP-400E/200	NEC SX-2N	CDC ETA10
オペレーティングシステム	VOS3	OS/IV MSP, UTS	SX-OS	UNIX System V
使用可能な言語	FORTRAN77	FORTRAN77	FORTRAN77, その他CP-JOBのみでCおよびPASCALが利用可能	FORTRAN77, C 但しCはアサキ化しない。
ジョブクラス ・クラス: Ctime標準(最大) ・基本領域+拡張領域+拡張記憶, 単位MB, ()内は最大	A: 30 (30) 秒まで 1.5(1.5)+15(255)+0(1024)	E: 15 (15) 分まで 6 + 10	AP S: 5 (5) 分まで 124 + 0 + 0 T: 15 (15) 分まで Sに同じ U: 120 (120) 分まで 124(255) + 0 + 0 X: 120 (120) 分まで, 要届出 124(255) + 0 + 0(2000) CP E: 5 (5) 分まで 256 + 0 + 0 F: 120 (120) 分まで Eに同じ	クラス および 制限は無し。
	B: 5 (5) 分まで Aに同じ	F: 180 (180) 分まで 6 + 32		
	C: 15 (15) 分まで Aに同じ	G: 180 (180) 分まで 6 + 200		
	D: 60 (60) 分まで Aに同じ			
	E: 60 (600) 分まで, 要届出 Aに同じ			
	L: 60 (180) 分まで, 要届出 1.5(3.0)+15(480)+0(2500)			

東京大学, 京都大学, 東北大学で使用されている OS は個々のメーカー特有のものであるが, 2. でも述べたようにこれらのセンターではスーパーコンピュータは大型汎用機のバックエンドプロセッサとして機能するので, 基本的には大型汎用機の OS を使いこなすことができればスーパーコンピュータに対するアクセスが可能と

なる. それに対して東京工業大学の場合は現在 EWS やミニコンでは標準ともいえる OS である UNIX System V を採用している. EWS やミニコンの利用に慣れた利用者にとっては特に専用の OS を覚えることなく利用できるという点が特徴である. 使用環境, 接続性, 操作性の面から, スーパーコンピュータの OS の UNIX 化も,

表-3 スーパーコンピュータの使用料金と容量の制限⁽¹⁾⁻⁽¹⁴⁾

	東京大学大型計算機センター	京都大学大型計算機センター	東北大学大型計算機センター	東工大総合情報処理センター
	HITAC S-820/80	FACOM VP-400E/200	SX-2N	CDC ETA10
料 金	バッチ=CPU+LD+SD+DBASE+LP TSS=ELASPE+CPU+LD+SD+DBASE+LP BASE:0円 CPU: 1~300秒 10円/秒 301~900秒 3円/秒 LD:長期7日4料 901秒以上 2円/秒 SD:短期7日4料 (8時時間のみ課金) DBASE:データ入出力料 LP:プログラム出力料 DISK:ディスク入出力料 ELAPSE:バッチ内端末3円/分 CPU2:バッチ内端末2円/分 LD(SD):360円(36円)×MB×月 DBASE:それぞれ異なる。 LP:3円/枚	A'チ=BASE+CPU1+LD+LP TSS=CPU2+LD+LP BASE:バッチ内端末 50円 CPU1: 1~300秒 5円/秒 301~900秒 3円/秒 901秒以上 1円/秒 CPU2: 1~900秒 5円/秒 LD: 10MBまで 月額10円/100KB 10~50MB 月額 5円/100KB 50MB以上 月額 2円/100KB LP: バッチ内端末 3円/枚 バッチ外端末 50円/枚 3円/枚	A'チ=BASE+CPU1+LD+LP TSS= CPU2+LD+ELASPE+LP BASE:0-80A'チ50円/90秒 A'チ10円 CPU1: 1~300秒 6円/秒 301~900秒 3円/秒 901秒以上 1円/秒 CPU2:6円/秒 LD:標準7日4 6単位1日 1円 特定7日4 24単位1日 1円 (1単位=1日 or 20KB) ELASPE:バッチ内外共通 1円/分 CPU内特殊端末 3円/分 LP:4円/枚	A'チ:未公開 TSS:ELAPSE+CPU+LD+LP+DISK CPU:計算時間に関係なく1.8円/秒 ELAPSE:1.0円/分 LD:0.5円/MB×時間 DISK:0.01円/回 LP:3円/枚
ファイル容量の制限値	長期:15 (40) MB 短期:40 (500) MB	MSPシステム: 50MB,100個(拡張可能) DTSシステム: 20MB(拡張可能)	標準 約30MB 特定 約160MB システム 約160MB	磁気ディスク全体に容量の余裕のある限り制限無し。

表-4 スーパーコンピュータ利用にあたっての参考書と相談システム

	東京大学大型計算機センター	京都大学大型計算機センター	東北大学大型計算機センター	東工大総合情報処理センター
	HITAC S-820/80	FACOM VP-400E/200	SX-2N	CDC ETA10
利用にあたっての参考書	1) HITAC VOS3 最適化FORTRAN77 OFORT77 E2. HAF FORTRAN77 使用の手引. 8090-3-765-30. 2) VOS3システム77のマニュアル(第4版)、東大計研77-1987. 3) FORTRAN77のバッチ処理の手引(第3版)、東大計研77-1988. その他多数、バッチ内で入手可能。	1) FACOM OS 1V/F4 MSP FORTRAN77 使用手引書。 2) FACOM OS 1V/F4 MSP TSS コマンド文法書。 3) FACOM OS 1V/F4 MSP システムマニュアルとシステムガイド。 その他多数、バッチ内で入手可能。	1) 利用の手引 2) システムの構成法 3) TSSの使い方 4) SXの使い方 その他多数、バッチ内で入手可能。 一部資料はバッチ内で日本語7日4出力あるいは郵便サービス有。	OSに関しては市販のUNIXに関する教科書で対応できる。 ベクトル化に対しては、ETA VAST-2 Version 1 User's Guide & Reference, ETA Systems, Inc. その他: バッチ広報、バッチ7日4、電子ニュースによるお知らせ等。
相談システム	・バッチ相談員は常時3名程度。 ・A'チ7日4などについては常時電話などで質問可能。	・バッチ相談員は常時3~4名。 ・すべての種類の質問について常時電話で質問可能。	・バッチ相談員は常時待機。 ・地区協主催の電子掲示板によるサービス。 ・バッチ7日4による支援有。	・バッチ相談員は一日2時間質問受付。 ・電子ニュースによる相談。 ・電子ニュースによる相談。

CRAY 社等をはじめとして進みつつあるようである。

プログラム言語はやはり FORTRAN 77 が主流である。FORTRAN 77 以外では、東北大学で PASCAL と C、東京工業大学で C が利用可能であるが、ベクトル化等のスーパーコンピュータの特徴を生かしきれていない。

東京大学、京都大学、東北大学では主として CPU 時間の制限値によってジョブクラスが設けられている。これらの大学の中で最も計算時間、メモリ領域ともに大きくとることができる東京大学の場合で CPU 時間で最大 600 分まで、メモリ領域で最大約 3 GB の計算が可能である。非共同利用の東京工業大学の場合は、計算時間や領域メモリに対する制限値は設定されていないが、一方後述のように長時間のジョブに対する特別の配慮も行われていない。

(2) 課金体系

各大学センターのスーパーコンピュータを用いるジョブに対する料金は表-3 のとおりである。

東京大学の場合は、1 秒当たりの演算料金は大型汎用機とスーパーコンピュータとで別体系になっているが、後者の場合、スカラー演算のみに課金され、ベクトル演

算には課金されない。

東北大学の場合は、大型汎用機とスーパーコンピュータとで 1 秒当たりの演算料金は同じであるが、後者の場合、スカラー演算およびベクトル演算の両方に課金される。

東京工業大学では、3 大学のように演算時間が長くなるほど演算費用が割安になるのではなく、演算時間に比例して課金されるため、長時間の計算に対しては東京大学等に比べて割高となる。

なお、ユーザーファイルに対してもその容量に応じて課金されるが、東京工業大学を除く 3 大学では、各利用者に対して容量制限が設けられている。それらの値も同表に示した。

(3) 利用にあたっての参考書と相談システム

初めて利用する利用者はもちろんのこと、経験を積んだ利用者の場合でもプログラミングやデバッグのためのマニュアルは不可欠である。表-4 には各大学センターのスーパーコンピュータを利用するために必要なマニュアルを著者らの経験からいくつか選んで示した。最近では印刷物のみでなく、オンラインでのマニュアルの文書データの提供が増える傾向にあるようである。

相談システムは、表—4 に示したように相談員との面接形式によるもののほかに、ネットワークシステムの充実とともに電子メールや電子ニュースを用いる方式がかなり利用されている。後者の場合、相談時間が制限されない、一度に多くの人に相談にのってもらえる、といった利点がある反面、計算機利用上・プログラム開発上の困難に直面した場合に相談員からのアドバイスを即座に受けることができないという欠点がある。したがって、これらは両立してゆくものと考えられる。

なお各大学では、相談員名簿と各相談員の専門研究分野や得意なプログラム言語等があらかじめセンタニュースで公表されているために、かなり専門的な相談をすることができる。

(4) 利用状況

共同利用である東京大学、京都大学、東北大学では、年末年始にほとんど飽和状態になる。特に長時間ジョブクラスでの待ち時間が非常に長くなる。

東京工業大学では、TSS による利用のみであり、現在のところ、応答が非常に悪化するほどの混雑はないようである。

4. ネットワークシステム

現在、コンピュータネットワークシステムには、従来のように大型計算機を遠隔の端末から利用するといった使い方だけでなく、ネットワーク上につながれた各種のコンピュータに記憶されたデータや、実験の計測機器から送られるデータの転送、電子メール/ニュースの交換等、さまざまなデータを高速で送ることが要求されるようになってきている。たとえば、スーパーコンピュータを用いて大規模な数値解析を実行して得られた結果を、グラフィック機能をもった EWS によって、結果の評価がしやすいように可視化するということも行われるようになってきているが、この場合、スーパーコンピュータと EWS との間に解析結果や画像のデータ等、大量のデータ転送が必要となる。このような状況を踏まえ、東京大学工学部、東北大学、京都大学等いくつかの大学において高速で大容量の本格的なネットワークシステムの構築が進められている。以下にこれらの各大学のネットワークシステムを紹介する。

(1) 東京大学工学部 LAN⁵⁾

東京大学工学部 LAN は、1987 年 3 月より運用が開始された。文部省予算として初めて設置が認められた最初の国立大学 LAN である。工学部に属する 20 の研究教育棟、実験棟、大型計算機センター等に支線 LAN としてイーサネットを分散配置し、これらの支線系を光ファイバケーブルによって相互接続している。高速性、開放性、異機種間接続への適合性を目的として計画され

ている。

(2) KUINS (京都大学)⁶⁾

京都大学では、1985 年に KUINS (京都大学統合学術情報通信システム) の構想が打ち出され、1990 年 1 月に第 1 期計画が完成した。KUINS の構成は以下の 3 要素からなっている。

① デジタル交換機

② 基幹ループ LAN

③ パケット交換機とマルチメディア多重化装置

①は、従来の音声通信をすべてデジタル化するためのもので、これにより全研究室に設置された多機能電話機により、1 本の回線で音声とデータ (19.2 Kbps 以下) の同時通信が可能になった。②は、各キャンパス内 (今回は吉田、宇治キャンパス) のワークステーション等を自由に結合するためのもので、京都大学ではイーサネットをインタフェースの仕様としている。また③は、キャンパス間のデジタル交換を効率的に利用するためのもので、第 1 期計画で吉田、宇治および熊取のキャンパスが統合された。

ようやく第 1 期計画が完成したばかりで、利用者側にまだ戸惑いもあるようであるが、廊下を伝わるイーサネットに多大の関心と期待がもたれている。なお第 2 期計画では、NTT の INS ネットへの接続、画像処理システムの開発、テレビ会議の実現などにより一層の拡充が予定されている。

(3) TAINS (東北大学)

東北大学の場合は、1988 年 4 月から学内総合情報ネットワークシステム (通称 TAINS) が部分的に運用開始され、1989 年 11 月に完成した。これは全学 5 キャンパスを総延長 33 km、100 Mbps の光ファイバ基幹ネットワークで結び、異機種計算機通信の国際標準規格 OSI (Open Systems Interconnection) をわが国で初めて採用した本格的学内ネットワークである⁵⁾。これによって、各研究室の任意の端末や EWS から SX-2N をはじめとする学内外の任意のホストを 24 時間体制で直接利用できるシステムが完成している。そのための通信ソフトも学内で独自開発配布されている。異なるプロトコル間通信が可能であるため、EWS と PC の直接的混在が可能となっているが、土木工学科では約 60 台の端末 (ほとんどが PC 9801) がネットワークに接続され、利用されている。

(4) 東京工業大学

東京工業大学の総合情報処理センターでは、スーパーコンピュータ ETA 10 の導入とともに、約 80 台の EWS が導入され、ネットワークで接続することにより、UNIX 環境のもとでの計算機の相互利用が行われている^{17), 18)}。スーパーコンピュータも含めすべての計算機は

表一五 リバモアループの実効速度の比較^(4), 8), 19), 20)

(MFLOPS)

LOOP NO.	スカラー処理					ベクトル処理						
	汎用機		スーパーコンピュータ			汎用機		スーパーコンピュータ				
	M680H	M380	S810	SX-2	X-MP	M680H	ACOS2000	S-810/20	S-820/80	VP-400	SX-2	X-MP1CPU
	OFORT77	FORTAN 77 OPT3	FORT77/ HAP	FORTAN 77/SX	CFT77	OFORT77 IAP	OPT3 IAP	FORT77/ HAP SOPT	FORT77/ HAP SOPT	FORTAN 77/VP	FORTAN 77/SX	CFT77 12
1	22.9	10.8	8.4	18.1	18.8	54.0	33.8	304.8	1000.0	498.5	800.1	259.4
2	15.2	12.4	5.6	15.6	8.9	13.0	57.6	275.1	834.8	198.6	49.9	11.7
3	24.6	7.5	8.7	15.8	19.1	56.5	57.8	339.2	820.5	354.3	528.7	342.9
4	18.8	6.1	8.2	15.7	17.3	49.0	52.6	70.1	210.1	106.1	164.2	69.9
5	15.2	10.6	6.7	11.3	14.4	14.5	29.1	28.5	117.8	10.5	11.3	10.9
6	15.7	8.9	6.5	10.7	6.1	13.0	34.8	26.1	117.1	10.1	29.3	17.9
7	30.7	14.9	10.0	30.8	25.9	48.5	45.2	289.6	950.1	492.4	1042.3	307.2
8	25.6	13.7	10.6	38.2	23.2	22.3	27.8	122.3	237.5	96.0	415.7	113.3
9	28.1	13.4	9.7	25.7	23.1	62.8	40.1	259.0	735.2	273.4	705.3	272.0
10	15.4	8.4	7.4	12.0	10.6	18.0	13.8	58.6	161.8	101.9	120.8	70.8
11	20.9	5.1	10.0	8.3	12.6	10.9	17.4	16.9	95.2	5.1	8.3	17.1
12	15.4	5.1	7.8	8.3	12.7	53.3	21.7	113.5	489.8	156.8	242.8	106.7
13	3.7	2.6	1.8	5.6	5.9	3.7	7.3	5.9	12.0	7.0	16.8	7.3
14	5.8	6.1	2.2	8.4	7.6	5.7	9.9	19.3	27.8	15.3	25.8	11.3
平均	18.4	9.0	7.4	16.1	14.7	31.1	32.1	136.6	415.0	166.1	297.2	115.8

LOOP NO. 1. 流体, 2. 変形内積, 3. 内積, 4. 帯型連立一次方程式, 5. 三角化消去(下三角), 6. 三角化消去(上三角), 7. 状態方程式
8. P. D. E. 積分, 9. 整数予測, 10. 差分予測, 11. 総和, 12. 差分, 13. 二次元粒子推進, 14. 一次元粒子推進

TSSでの利用となっている。東京工大の主力計算機のOSがUNIXに変わってまだ日が浅いためか、現在のETA10やEWS群の利用者/時間においては、計算機的能力やネットワークの容量の限界からくるレスポンス悪化はそれほどでもないが、今後利用者の増加や、UNIXシステムが得意とする計算機の相互利用や電子メールの交換等が盛んになるにつれて、ネットワークの容量がボトルネックとなることも考えられる。

5. スーパーコンピュータの実効性能

表一に示されるようなカタログ性能の数値は理想的な条件下のものであり、実際の演算においては、各計算機システムのハードウェアやソフトウェアのアーキテクチャと具体的な演算内容との関係で必ずしもこの性能が発揮されるわけではない。アメリカのローレンス・リバモア研究所で提案されたリバモアループの種々の演算に対する処理速度を検討することにより、多角的な評価が行えるが、その結果の一例を表一五に示す。なお、汎用機においてIAP(Integrated Array Processor)を用いて配列演算を効率的に行った場合の結果も併せて示している。同表からは、流体計算・状態方程式・差分に関しては、ベクトル化による速度の改善が顕著であるのに対し、連立方程式ではスーパーコンピュータによる速度向上はさほどではないことが読み取れるが、最近では連立方程式に関しても、ベクトル化を意識したスーパーコンピュータによりよく適合する高速アルゴリズムがいくつか開発され実績が上げられつつある。

6. スーパーコンピュータを利用した数値解析例

前章までにおいて、大学における場合を例にとり、スー

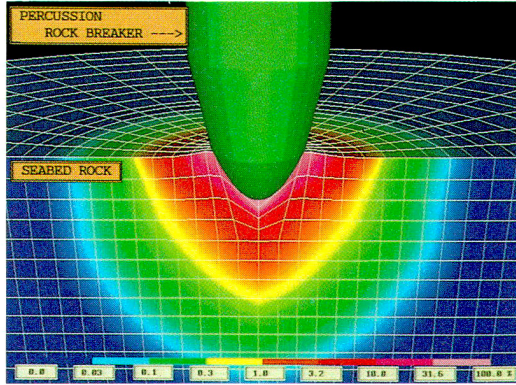
パーコンピュータの性能およびその運用形態ならびに利用環境等の現状を概観した。数値解析のための強力な武器としてのスーパーコンピュータは、もちろん研究面においてその威力を発揮しているが、超高速演算と大記憶容量を併せもつ高い性能のゆえに、従来の計算機では手におえなかったような、膨大な計算量を必要とする大規模な数値解析を、実務への適用がかなう短時間で処理することを可能にしている。

土木工学の各分野においても例外ではなく、スーパーコンピュータと三次元カラー画像処理システムとを利用することによって実務計算が行われるようになってきている。ここでは、非常に広範な適用分野の中から建設会社における実務への利用の現状をみるとし、従来比較的研究の枠内で行われることが多く、実務への適用が困難であった種類の問題を、スーパーコンピュータを用いて解析し、実際の設計業務に積極的に活用している例をいくつか示す。

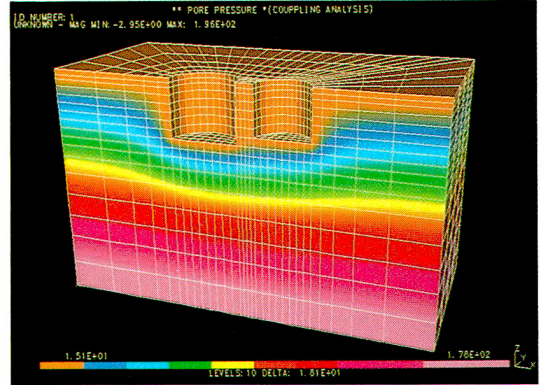
(1) 海底岩盤の砕岩シミュレーション

第一の例は、砕岩棒落下方式の海底岩盤の掘削過程を衝撃応答解析によりシミュレーションしたものである。この解析は、工程管理のための砕岩量の予測と、非掘削領域の健全度の把握を主な目的として行ったものである。解析モデルは軸対称回転要素による岩盤と砕岩棒から構成され、全自由度は1019である。衝撃荷重は剛体と仮定した総重量50tfの砕岩棒を対称軸中心点に落下させるもので、繰り返し载荷回数は5回である。

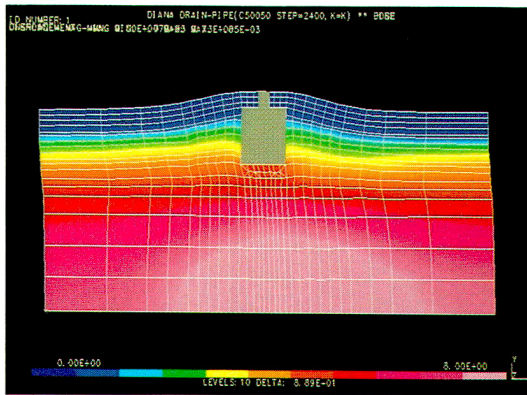
最終衝撃荷重載荷後に得られた岩盤の変形状態と岩盤に発生した塑性ひずみ量のコンターを写真一に示す。砕岩棒周辺の岩盤表面は膨れ上がり、岩盤内部は押し込まれていく様子がわかる。また、赤系統色で示す塑性ひずみ量が大きく発生している領域は比較的砕岩棒近傍に限



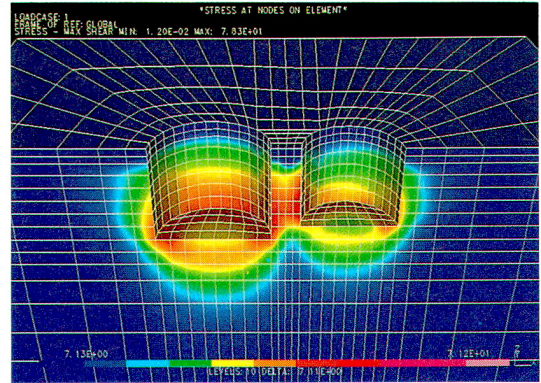
写真—1 海底岩盤の変形と塑性ひずみコンター



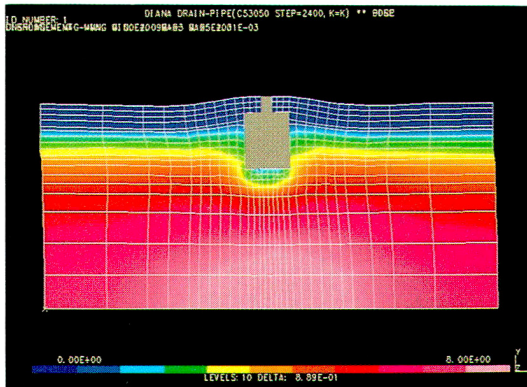
(a) 間隙水圧コンター



(a) 液状化対策なし

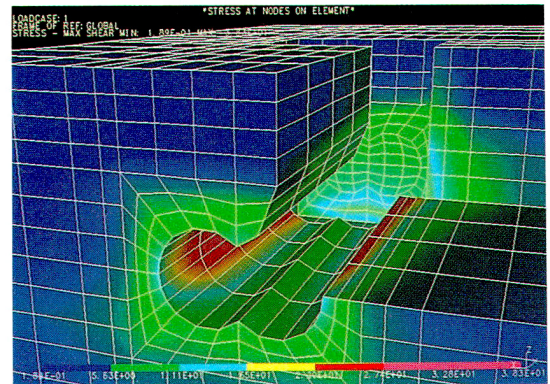


(b) せん断応力コンター



(b) 液状化対策あり:排水パイプ工法

写真—2 過剰間隙水圧コンターと残留変形



写真—4 多連形シールド掘削時のせん断応力コンター

られることが判明した。砕岩量は砕岩棒の潜り込み体積として評価できることもわかった。

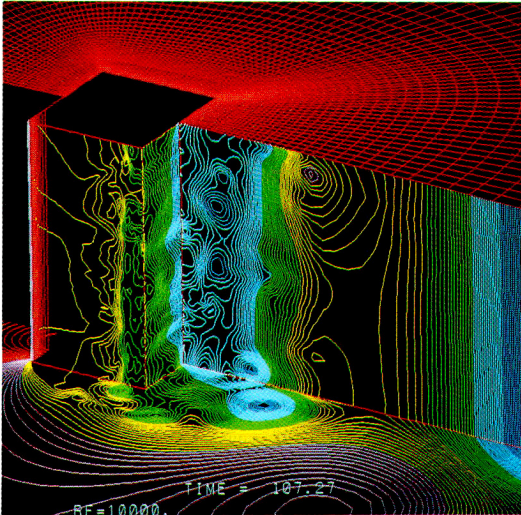
なお、計算時間はスーパーコンピュータ NEC-SX/1 EA を用いた場合、CPU で約 4 時間であり、同様の条件で汎用大型計算機 IBM-3090 を用いた場合の約 1/6

の計算時間であった。

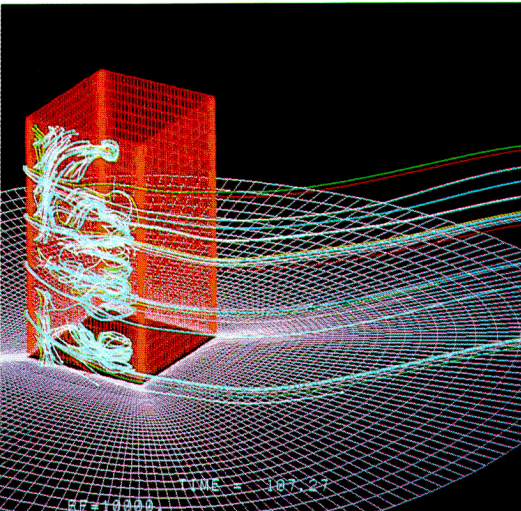
(2) 軽量地中構造物の液状化対策工法

緩い飽和砂地盤中に構築される杭基礎をもたない軽量構造物での、地震時液状化現象による浮上りを対象とした解析例である。解析検討には時刻歴の弾塑性有効応力

注) 写真—1～写真—4 は大林組技術研究所提供



(a) 構造物周辺の等圧線分布

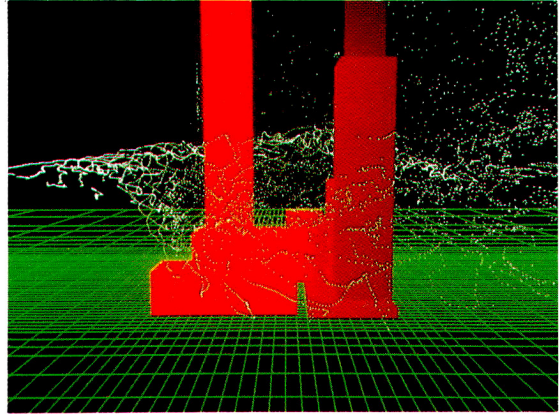


(b) 構造物壁面の渦の発生メカニズムの可視化

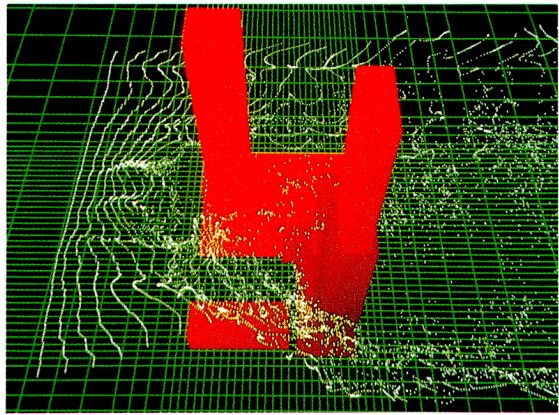
写真-5 構造物周辺の渦の発生メカニズムの可視化

解析コードを用いた。解析に利用したモデルは574節点の要素分割で、液状化対策工のある場合とない場合の比較を行った。時刻歴応答解析に要した計算時間は、前述したスーパーコンピュータを用いた場合、全4800ステップの解析に対して約2時間であった。

地震終了直後の過剰間隙水圧コンターならびに残留変形を写真-2に示す。灰色で示しているのが地中軽量構造物であり、地盤部分の配色は赤白色→黄色→青色の順で過剰間隙水圧の高さを示している。対策工を設けた場合、構造物の下部地盤の過剰間隙水圧の上昇が抑制されており、その結果、周辺地盤に対する相対変位が低減



(a) ビル側面よりみた風の流れ



(b) ビル上空よりみた風の流れ

写真-6 超高層ビルの周辺気流の可視化

されていることがわかる。

(3) 大深度掘削時の地盤の応力・変形解析

大深度に及ぶ掘削を伴う大型地下構造物の施工においては、構造物に作用するきわめて大きな水圧・土圧が問題となる。そのため従来の設計法のみならず、高度な数値解析による情報を有効に活用したより綿密な安定性に関する検討が要求される。その一例として、二基の大型地下タンクを極近接して掘削施工する場合を想定し、掘削時の周辺地盤の挙動を解析した。個々のタンクは円筒構造物であるため、従来は二次元の軸対称要素が用いられているが、ここでは双設による影響を検証するため、地盤～構造物のモデル化は三次元で行った。解析に使用したモデルは3740要素、4500節点の要素分割であり、計算時間は約1時間であった。

間隙水圧コンターを写真-3(a)に、せん断応力コンターを写真-3(b)に示す。背面地盤からの地下水の流入によって、掘削底面下の地盤の間隙水圧がかなり高圧

注) 写真-5は清水建設大崎研究室提供(本解析例は、日経アーキテクチャ、1988年2月8日号に発表したものである。)
写真-6は清水建設技術研究所提供

で保持されている様子や、両タンク間の地盤における高いせん断応力状態がわかる。

写真-4に同様の解析手法による立坑および多連形シールドトンネル(DOT工法)の掘削時に生じる地盤のせん断応力を示す。立坑とトンネルの接合部付近の地盤に大きなせん断力が作用することがわかる(あざき色で着色されている部分)。このように、複雑な構造形式や土圧・地下水圧の変化が予想される地下空間の利用を図るうえで、三次元解析は有効な検討手法の1つであることがわかる。

(4) 構造物周辺気流のシミュレーション

最後に、構造物周辺の三次元的な風の流れをスーパーコンピュータを利用して解析した事例を2つ示す。構造物に作用する荷重は、構造物自体の重量や地震時の慣性力だけでなく、風によって引き起こされる力も重要である。近年、数多くの長大橋や超高層ビルが建設されるようになり、特に風に対する構造物の安全性がクローズアップされてきた。これまで、耐風設計に必要な基礎データは風洞実験によって求められているが、最近ではコンピュータの急速な高速化、大容量化に伴い、数値解析手法によってもデータが得られている。

写真-5(a)および(b)に示す第一の解析例では、構造物周辺の風の流れを差分法を用いて定式化し²¹⁾、スーパーコンピュータ(VP-200)によってシミュレーションを行っている。無限に長い構造物を想定して解析モデルの上下端部を周期境界として取り扱い、40万の格子数でモデル化した。総計160万自由度の膨大な計算である。1000ステップの解析に要した計算時間はおよそ20時間である。当図より構造物壁面から発生した渦が次第に壁面より剥離し、風下にあたる構造物の後方では風の流れが三次元的に変化している様子がわかる。当モデルを二次元で解析した場合には構造物周辺気流の三次元的変化を取り扱えないため、三次元解析の必要性が指摘される。構造物周辺の複雑な風の流れを再現することは、構造物に作用する風力を予測するうえできわめて重要と考えられる。

写真-6(a)および(b)に示す第二の解析例ではミニスーパーコンピュータ(CONVEX-C1)によってビル風をシミュレーションしている。この解析では、風洞実験に先立って、超高層周辺の風の流れを数値解析法²²⁾を用いて可視化し、どの場所に重点を置いた計測を行えばよいかを調べ、実験計画に反映させている。前述の解析例と同様に差分法を用いて、20万の格子数で2つの超高層ビル(高さ200m)周辺の風の流れを解析している。総計80万自由度の計算で、5万ステップの膨大な解析に要した計算時間はおよそ3日間であった。当図より、高層ビルからの風の吹き降ろしに伴う渦が、2つの

高層ビルに挟まれた低層ビル付近に認められる。実際の風洞実験ではこの解析結果をもとに低層ビル付近に重点を置いた計測が行われた。

今日のスーパーコンピュータ、数値解析手法およびCG技術の発展は、ひと昔前は解析不可能であった風の流れの様子を精密にしかも視覚を通して分析可能にしており、実務で重要な役割を果たしてきている。

以上はほんの一例であり、たとえば文献24)に示されているように、多くの実用上の問題がスーパーコンピュータを利用して解析されつつある。

7. 今後の展望

スーパーコンピュータの性能向上の推移を図-2^{23),24)}に示すが、現在ではNECのSX-3のように最大性能が22 GFLOPSというコンピュータも登場している²⁴⁾。CRAY社においても、Y-MPシリーズの最上位機種として理論最大性能24 GFLOPS、16 CPU構成、最大主記憶容量4 GBのC-90(開発コード名)やその後継機種の研究開発が行われている²⁾など、スーパーコンピュータは今後さらに高速化、大容量化していくことが予想される。

現実の現象は、厳密に追求すればすべて非線形性を示す。土木工学分野で対象とするプロジェクトが巨大になればなるほどより合理的な設計施工が要求され、大規模かつ非線形性を考慮に入れた解析が不可欠になる。しかも非正常性を無視できない場合も多く、その場合には時間依存問題として取り扱わなければならない。

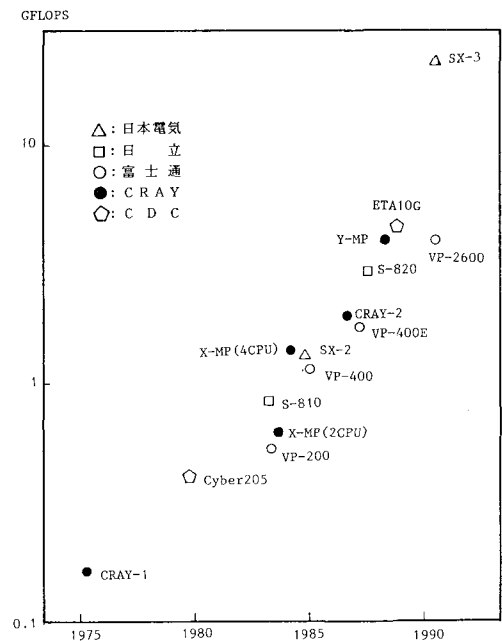


図-2 スーパーコンピュータの演算性能の推移^{23),24)}

たとえば、三次元 Navier-Stokes 方程式の直接計算では、スーパーコンピュータを用いてなお数百時間もの計算時間を要したという報告²¹⁾があるなど、現在の演算速度、解析手法では解析に多大の時間を要する場合は多い。

したがって、スーパーコンピュータの一層の高性能化とともに、その特性を考慮に入れた解析方法の開発もまた重要である。

8. おわりに

本報告をまとめるに際して、大林組技術研究所の伊藤浩二氏、山本修一氏、ならびに清水建設大崎研究室の田村哲郎氏、同技術研究所の日比一喜氏には貴重な解析結果を提供していただきました。日本クレイ(株)の加藤毅彦氏、芹澤芳夫氏には、CRAY スーパーコンピュータに関する貴重な情報²²⁾をご提供いただきました。武蔵工業大学大学院博士課程の黒田充紀氏には、資料の収集にご協力いただき、また、本文の一部を執筆していただきました。ここに記して謝意を表します。

なお、本小委員会の研究活動に対して、文部省科学研究費(総合研究(A)-62302039)の交付を受けたことを付記する。

最後に、当小委員会の構成は以下のとおりである。

吉田 裕(委員長)、阿井正博・阿部和久、井浦雅司、依知川哲治*、岩熊哲夫*、大槻 明*、尾崎浩明、川原睦人、後藤芳顕、坂井藤一、崎山 毅、武田 洋、田村 武*、中村秀治、野上邦栄、野村卓史、長谷川彰夫、林 正、檜貝 勇、平島健一、前川宏一、前川幸次、増田陳紀(幹事)、松田 隆*、山口宏樹、山崎 淳、吉川弘道、依田照彦(幹事)、黛 巖(事務局)。(※は本稿の執筆担当委員)

委員としてご活躍いただいた長谷川彰夫委員(東京大学教授)は1989年12月27日に逝去されました。ご冥福を心よりお祈り致します。

参 考 文 献

- 1) 日本クレイ(株)：The CRAY-2 Series of Computer Systems, 1988. 11.
- 2) 加藤毅彦・芹澤芳夫：CRAY スーパーコンピュータの現

状、土木学会非線形小委員会資料, 1990. 1.

- 3) 東京大学大型計算機センター：講習会テキスト・センター利用入門, 1989. 2.
- 4) 京都大学大型計算機センター広報, Vol. 20, No. 5, 1987.
- 5) 東北大学大型計算機センター概要, 1989.
- 6) 東京工業大学総合情報処理センター広報, 127号, 1988. 10.
- 7) 日本シーディーシー：ETA 10 システム解説書・ETA System V 編; ETA Systems Inc. : Mainframe System Equipment Specification.
- 8) 東京大学大型計算機センター年報, 第 18 号, 1988.
- 9) 東京大学大型計算機センター：講習会テキスト・スーパーコンピュータの効率の良い使い方について, 1989. 10.
- 10) 京都大学大型計算機センターパンフレット, 1988. 4.
- 11) 東京大学大型計算機センター：センターニュース, Vol. 21, No. 12, 表紙裏, 1989. 12., など.
- 12) 京都大学大型計算機センター広報, Vol. 22, No. 5, 1989. 10.
- 13) 東北大学大型計算機センター, 私信.
- 14) 東京工業大学総合情報処理センター広報, 131号, 1990. 1.
- 15) 東京大学大型計算機センター：センターニュース, Vol. 19, No. 12, pp. 49~54, 1987. 12.
- 16) 京都大学統合情報通信システム建設部：KUINS—紹介用パンフレット— (1990. 1); KUINS ニュース, No. 1 (1988. 2)~No. 8 (1990. 3).
- 17) 東京工業大学総合情報処理センターパンフレット, 1988. 10.
- 18) 東京工業大学総合情報処理センター広報, 124号, 1988. 1.
- 19) コンピュートロール, No. 20, コロナ社, 1987.
- 20) 坂田真人・武田敏夫：ACOS 2000 の処理速度, SENAC, Vol. 21, No. 1, pp. 19~22, 東北大学大型計算機センター, 1988.
- 21) Tamura, T. and Kuwahara, K. : Numerical study of aerodynamic behavior of a square cylinder, International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and its Applications, Kyoto, 1988.
- 22) 村上周三・日比一喜・持田 灯：Large Eddy Simulation による街区周辺の乱流場の3次元解析(その1), 日本建築学会計画系論文集, 412号, pp. 1~10, 1990. 6.
- 23) 島崎真昭：スーパーコンピュータとプログラミング, 計算機科学/ソフトウェア技術講座9, 共立出版, 1989.
- 24) 土木学会誌, 特集スーパーコンピュータ, Vol. 74, pp. 22~49, 1989. 9.

(1990. 7. 27・受付)