

# シミュレーション技術を支える計算機環境

松岡 彰彦  
情報管理部  
(OAネットワーク 課長)

松尾 浩一郎  
同  
(同 主査)



まつおか あきひこ まつお こういちろう

## はじめに

シミュレーションとはラテン語のsimulo（まねをする、ふりをする）に由来し、一般に「物理的あるいは抽象的なシステムをモデルで表現し、そのモデルを使って実験を行うこと」を意味します。大別すると実際に模型を作って行う『物理的シミュレーション』と、数学的モデルをコンピューター上で扱う『論理的シミュレーション』がありますが、本稿では鉄道総研における論理的シミュレーションを支える計算機環境について紹介します。

## 研究開発を支援する計算機環境

### (1) 国鉄時代の共同利用計算機

鉄道総研における研究開発を支援する計算機環境の整備は、国鉄：鉄道技術研究所時代の昭和33年2月に『計算機センター』が開設され、前年5月に導入された米国Bendix社製汎用デジタル電子計算機G-15と所内に散在していた電動式計算機（アナログ計算機、データ処理装置、など）を一括管理し、所内の計算機需要に対して器材の

サービスを中心とした業務を実施したことに始まります。

G-15は技術計算用の本格的なコンピュータとしては日本で最初に輸入されたものであり、現実に稼働しうる電子計算機が国内において十指に満たぬ状況の当時、特に電子計算機の製造技術の研究開発のためにはなく、一般の科学技術計算を主目的としたものは当所のG-15がわが国において唯一のものであったということです。

その後、国鉄全体の科学技術計算に寄与することを目的として、昭和45年には新たに電算棟を建設するとともに、当時国産最大の計算機であったF-60（富士通製FACOM230-60）と計測データ処理用計算機としてF-35（FACOM230-35）を導入し、国鉄における共同利用計算機の本格的なサポートを開始しました。

以後、共同利用計算機は図1に示すように汎用計算機と計測データ処理用計算機の2系統での運用が進められ、研究所以外にも国鉄本社をはじめ鉄道労働科学研究所、各工事局などから広く利用され、数多くの成果を上げてきました。

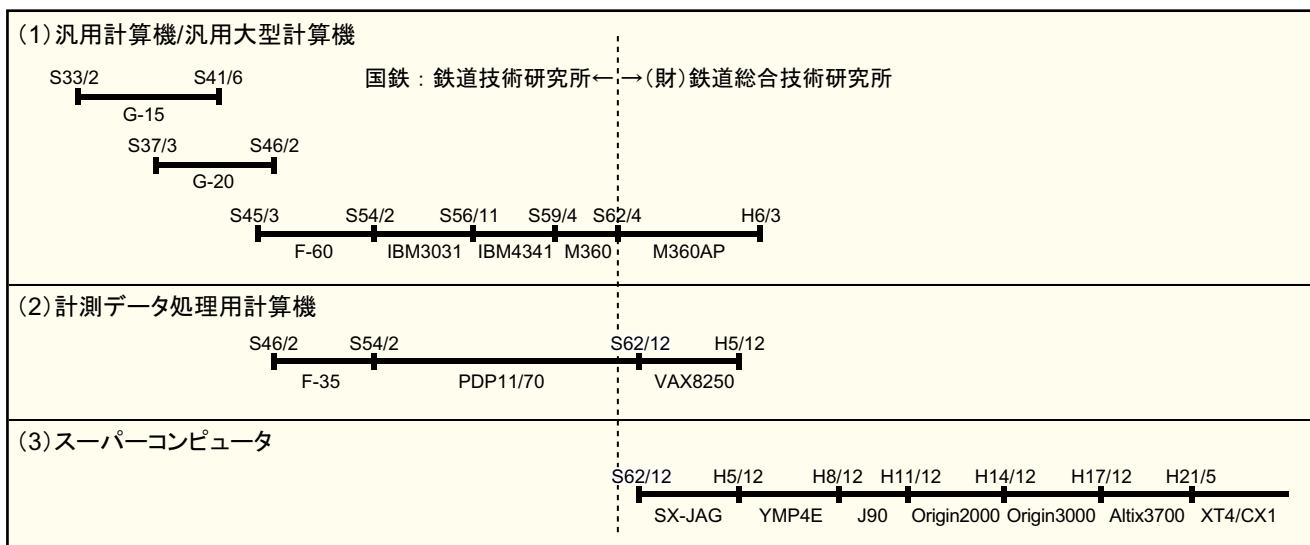


図1 鉄道総研における共同利用計算機の変遷

表1 歴代汎用計算機／計測データ処理用計算機の仕様

機種名	演算速度(主記憶メモリ/ディスク容量)
米国Bendix製	
G-15	ギブソンミックス値270.0 $\mu$ s(-/-)
G-20	ギブソンミックス値20.0 $\mu$ s(-/-)
富士通製(F: FACOM230シリーズ, M: FACOM Mシリーズ)	
F-60	ギブソンミックス値1.6 $\mu$ s (320KB/256KB)
F-35	ギブソンミックス値4.4 $\mu$ s (128KB/-)
M360	3.0 MIPS (20MB/10GB)
M360AP	5.0 MIPS (24MB/16GB)
米国IBM製	
IBM3031	1.0 MIPS (2MB/1.2KB)
IBM4341	1.2 MIPS (8MB/5.7KB)
米国DEC製	
PDP11/70	0.7 MIPS (384KB/123KB)
VAX8250	1.3 MIPS (8MB/1GB)

※ ギブソンミックス値：命令(ギブソンミックス)の平均実行時間  
MIPS値:1秒間の実行命令回数(単位：百万回)

## (2) 鉄道総研での取り組み

国鉄からの移行時(昭和62年度)には200～250人の研究者が一般の技術計算、シミュレーション、データベースなどに汎用大型計算機(FACOM M360 AP)を利用し、前年度(昭和61年度)実績において月平均で約17,000件ものジョブ(計算機処理)が実行されるに至りました。また、計測データ処理用計算機(PDP11/70)についても鉄道技術研究所において開発された会話型計測データ処理システムLABOCS(LABORatories Conversational System)などを利用して種々の研究に供されていました。しかし、パーソナルコンピュータ(以下、パソコン)やワークステーションの普及、高性能化が急速に進む計算機環境の中、鉄道総研では発足直後の昭和62年6月に「コンピュータ・システム検討会」が設置され、その後の鉄道総研における計算機環境に対するニーズを「大規模数値計算」「大容量データベース」「計測データ処理」に分類整理するとともに、新たにスーパーコンピュータ(以下、スパコン)を導入することが提言されました。初代スパコンとして、日本電気製SX-JAGが昭和63年11月に導入され、数値解析用パッケージや前後処理用アプリケーションの利用サポートを開始しました。SX-JAGは既設汎用大型計算機の10倍以上の性能を持ち、浮上式鉄道の磁界解析、構造計算などの数値シミュレーションに力を発揮しました。

### (i) 大規模数値計算

大規模数値計算に対するニーズとしては、差分法、有限要素法、境界要素法などを用いた数値解析手法の応用や、車両、架線の運動シミュレーション、数値風洞、数値車両試験台、数値集電試験装置、数値路盤試験装置などの開発への対応が検討されました。対象とされた数値解析には次

のものが挙げられます。

- ・車体、軌道、構造物の設計および地盤振動の解析のための構造解析
- ・材料の設計のための熱応力解析
- ・車体形状や車内換気装置の設計、空力音の解析のための空気流体解析
- ・車輪／レール間の解析や制動材料の設計のための摩擦／摩耗解析

### (ii) 大容量のデータベース

大容量データベースとしては、測定データや検査データを管理する従来からのデータベースの大規模化に加え、鉄道技術情報や技術基準などの膨大なテキスト情報を対象とした全文検索などの新たな開発、運用が大きく期待されました。

### (iii) 計測データ処理

各種の試験、実験により収集される計測データの処理は簡易なものから複雑高度なものまで広範囲におよび、特に「在来線、新幹線の速度向上試験」「車両試験台による試験」「浮上式鉄道の開発」などに関して、デジタル信号処理、システム同定手法、多変量時系列解析、モード解析など、新しい手法を駆使した処理の高度化が求められました。

## (3) ダウンサイジングと計算機統合

経済動向、社会現象から見て、低成長時代に突入した1990年代に入ると計算機環境は、WindowsやUNIXなどのオペレーションシステム(OS)搭載機器の価格性能比が向上し、クライアント／サーバ・システムや、グラフィカルユーザインタフェース(GUI)、TCP/IPなどの通信プロトコルの普及と相まって、ネオダマ化(ネットワーク化、オープン化、ダウンサイジング化、マルチメディア化)の時代と呼ばれるかつて無い劇的な変化を遂げました。このような状況の下、鉄道総研では平成3年から検討を開始した「次期システム検討会」において、既存システムのダウンサイジングと計算機統合の提言がなされ、次のような取り組みが行われました。

### (i) LA(Laboratory Automation)システムの整備

前述の検討会では、コンピュータを利用する研究の効率化を図るためには高性能なLAシステムを構築する必要があり、超高速で超大型の計算を行うスパコンを中核として、①所内ネットワーク(LAN)機能、②データベース機能、③計測・解析機能、④計算の可視化機能、などの基本機能の充実が求められました。

**(ii) 汎用大型計算機の廃止**

世界的なダウンサイジングの流れを受け、鉄道総研では平成5年にスパコンのリプレイス（日本電気製SX-JAG → Cray Research Inc製Cray-YMP4E）に合わせ、汎用大型計算機（M360AP）を廃止し、それまで汎用大型計算機で実行されていたプログラムも新スパコンに移行しました。

また、計測データ処理用計算機（VAX8250）についても同年11月をもって廃止し、以降は性能向上が著しいワークステーションに移行するとともに、このレベルの計算は研究室が個別に対応することとしました。

当時、Cray-YMP4Eは世界的に圧倒的なシェアを持っていた4CPU構成のベクトル型SMP計算機であり、理論演算速度は前機の4倍程度に増強され、汎用大型計算機の処理能力をも十分吸収することができました。また、オペレーティングシステムとしてUNIXを搭載し、UNIXワークステーションとの相互運用性を格段に向上させ、研究室のパソコンやワークステーションとを所内ネットワークで結ぶ新たな計算機環境が整備されました。

**現在のスーパーコンピュータ**

現在のスパコンシステムは、平成21年5月より新たに導入したスパコン（Cray-XT4、Cray-CX1）と共用端末室に設置した2台のプリ・ポスト処理用計算機（パソコン）、カラープリンタの構成で運用しています。また、これらは所内LANに接続されており、多くの利用者は各自の研究室パソコンを端末として直接アクセスして利用しています。

**(1) スパコンの動向**

一般にスパコンは、内部の演算処理速度がその時代の一般的なコンピュータより極めて高速な計算機を指しますが、具体的な定義（例えば、演算性能が○倍以上、△FLOPS以上など）は時代によって大きく変化しています。近年ではHPCサーバ（High Performance Computing Server）とも呼ばれ、自然現象のシミュレーションや生物構造の解析など、非常に計算量が多い計算処理を行うための高性能計算機を指します。

また、スパコンには大別すると、科学技術計算専用のベクトルプロセッサを搭載したベクトル計算機と、パソコン等にも利用されている汎用プロセッサを搭載したスカラー計算機の2種類がありますが、大規模計算を行う並列処理のために複数のプロセッサを搭載したシステムでは、さらにプロセッサ間の接続方式により、SMP（Symmetric Multi Processor：対称型マルチプロセッサ）

とMPP（Massively Parallel Processor：大規模並列プロセッサ）の2つのタイプに分けられます。現在、理論演算速度において世界の上位を占めるスパコンの多くは、大量のプロセッサを結合したスカラー型MMP計算機が主流となっています。表2に示すように鉄道総研におけるスパコンも単一プロセッサのベクトル型から始まり、複数のプロセッサを有するベクトル型SMP、スカラー型SMP、スカラー型MPPへと変遷してきました。MMP計算機の処理能力を有効に活かすには、より高度な並列化プログラミングが必要となります。

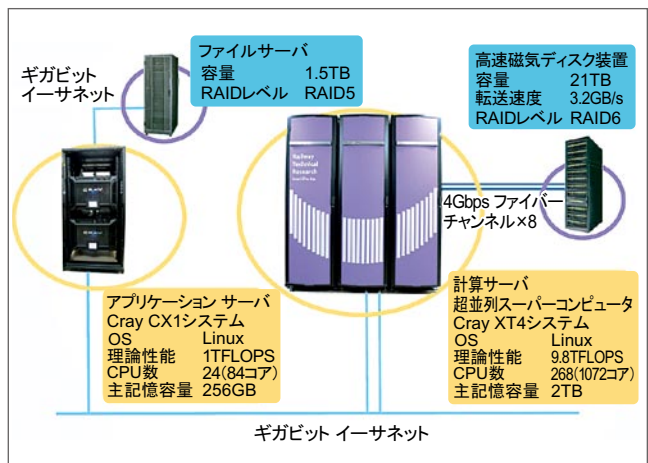
**(2) 超並列計算機XT4**

新スパコンCray-XT4は多数のプロセッサをコントロールして高性能な計算処理能力を持つ超並列計算機であ

**表2 歴代スパコンの仕様**

機種名	理論演算速度 (CPU数 / 主記憶メモリ / ディスク容量)
日本電気製(1988 / 12~1993 / 11)	
SX-JAG(ベクトル型)	665.0 MIPS (1CPU / 128MB / 15GB)
米国Cray Research Inc製(1993 / 12~1999 / 11)	
YMP4(ベクトル型SMP)	2.0 GFLOPS (4CPU / 0.5GB / 30GB)
J90(ベクトル型SMP)	3.2 GFLOPS (16CPU / 4GB / 100GB)
米国SGI製(1999 / 12~2009 / 4)	
Origin2000(スカラー型SMP)	38.4 GFLOPS (64CPU / 48GB / 300GB)
Origin3000(スカラー型SMP)	115.2 GFLOPS (96CPU / 80GB / 1.0TB)
Altix3700(スカラー型SMP)	672.0 GFLOPS (112CPU / 224GB / 3.0TB)
米国Cray Inc製(2009 / 5~)	
XT4(スカラー型MMP)	9.8 TFLOPS (268CPU / 2TB / 21.0TB)
CX1(スカラー型MMP)	1.0 TFLOPS (24CPU / 256GB / 1.5TB)

※ GFLOPS: MIPSの千倍, TFLOPS: GFLOPSの千倍



**図2 現在のスパコンシステムの構成**

り、今回導入したシステムではAMD Opteron Quad-core プロセッサを268 CPU (1072コア) 搭載しています。これにより、従来は最大32並列に制限していた並列計算が512並列まで実行可能となりました。また、前スパコン Altix3700 [Intel Itanium2プロセッサを112CPU (112コア) 搭載] と比較すると、表2に示すようにコア数、メモリ容量については約10倍、理論演算性能値は約15倍の9.8 TFLOPS性能に向上しています。

### (3) アプリケーション用サーバCX1

Cray-CX1はブレード型HPCサーバであり、1筐体(ラック)に最大8ブレード(ブレードは、そのユニット内にメモリやハードディスク、プロセッサ等を有しており、計算機として単体でも動作することが可能)を搭載できます。今回導入したシステムでは、2つのラックに12台のブレードを搭載し、総合的には24CPU (84 コア) で1TFLOPSの理論演算性能を有しており、小型ながらも前スパコンの演算性能を上回っています。また、ブレード型システムでは必要に応じてラックの増設やブレードの選択、組合せも可能であり、拡張性の高いシステムとなっています。

一般的に解析処理を行うための市販アプリケーションのライセンスは、使用するプロセッサ (CPUまたはコア) の数でカウントするため、大量のプロセッサを持つスパコンであっても利用できるプロセッサの数が制限されます。一方、ライセンス数を増やせば費用が膨大になってしまうと言う問題を抱えています。このため、今回の導入では前スパコンのライセンス数を維持し、単体性能が2倍の性能を有するプロセッサ (Intel Xeon : 12 GFLOPS, 前機Intel Itanium2 : 6 GFLOPS) を導入しています。

### (4) 解析ツール

プログラム開発用のプログラム言語としては、C言語とFortranが利用可能であり、数値計算ライブラリや並列計算のためのMPI (Message-Passing Interface) ライブラリもサポートしています。

数値解析用ソルバー (アプリケーションプログラム) としては、従来より表3に示すものが利用されており、スパコンの取替に際しては、これらの継続利用が利用者から強く求められました。このため、前機スパコン (Altix3700) で利用していた全てのソルバーをCray-CX1に継承し、運用しています。(但し、地震解析S-FLUSHについてはCray-XT4で運用)

また、プリ・ポスト処理には有限要素法 (FEM) 解析のためのFEMAPの運用提供を行っています。

表3 数値解析用ソルバーの利用状況

解析用ソルバー	利用分野
線形構造解析 (NX/NASTRAN)	構造物, 軌道, 車両, 環境工学, 超電導応用, 低温システム
非線形構造解析 (ADINA)	構造物, 軌道, 車両
熱流体解析 (FLUENT)	環境工学, 車両, 電力
衝突解析 (PAM-CRASH)	軌道, 車両
非線形磁界解析 (ELF/MAGIC)	車両, 超電導応用
音響解析 (SYSNOISE)	構造物, 環境工学, 車両, 材料
地震解析 (S-FLUSH)	構造物

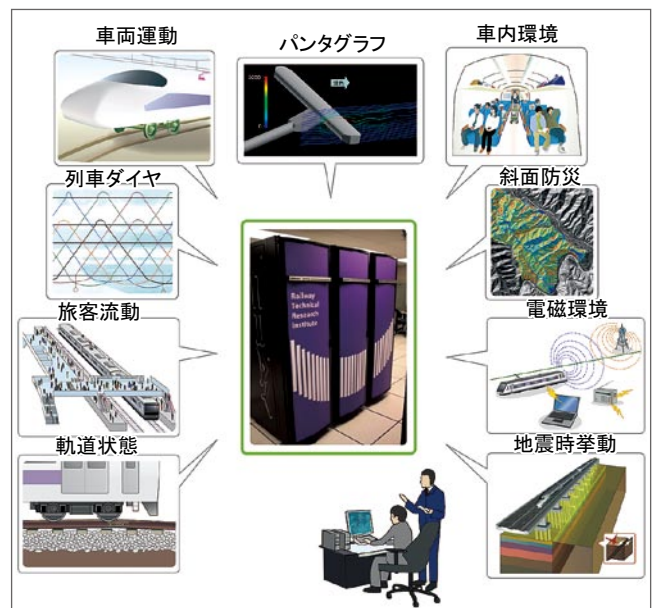


図3 鉄道におけるシミュレーション技術の応用分野

### おわりに

鉄道総研では、平成22年度からの基本計画 (RESEARCH 2010) においてシミュレーション技術の高度化に注力することとしており、鉄道の将来に向けた研究開発の一つとして「鉄道シミュレータの構築」を設定しています。鉄道におけるシミュレーション技術の応用分野には図3のように様々なものがありますが、コアシステムとしては次のようなものを対象に研究開発を進めています。

- ・地盤/構造物群モデル
- ・空気流/空力音総合シミュレータ
- ・架線/パンタグラフシミュレータ
- ・バーチャル鉄道試験線プロトタイプ

計算機技術の進歩は著しく、これらの研究開発においても計算機環境のより一層の充実が求められています。我々は、今後とも使い易く、高いパフォーマンスが得られる計算機環境の構築を目指しています。 [RRR]