

構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR の概要

松原 聖*

Summary of Advance/FrontSTR

Kiyoshi Matsubara*

従来の構造解析は、あらかじめ設計上でクリティカルになる部位を設計者が想定し、その部位に対する解析を行うことが一般的であった。近年の計算機能力の飛躍的向上を背景として、産業界での製品に対する品質向上への要求から製品全体に対する大規模構造解析シミュレーションのニーズが高まっている。これまで、並列計算機を利用した大規模計算については、計算方法はほぼ確立され、多くの研究により成果が残されてきた。現状では、これらの研究成果を産業界への実用技術として、技術移転を完了させなければならない。そのために、現在は、安価となった並列計算機等のハードウェアでの大規模構造解析を、さらに手軽に実施できるソフトウェアを普及させる時期と位置付けている。

この問題を解決するためのアプローチは幾つかあり、当社で販売している Advance/FrontSTR では、並列計算機による大規模解析を実施するための幾つもの仕組みがある。本ソフトウェアの開発当時から力を注いできた並列計算機での高速性能の他に、例えば、本特集で紹介するアセンブリ機能、リファイナー機能を提供している。これらの機能により、大規模解析の容易さが格段に向上した。本稿では、これらの課題に対する当社での取り組み、および、その成果である Advance/FrontSTR Ver.4.0 の概要について述べる。

Key word: 構造解析、並列計算機、大規模解析、高速化、部品アセンブリ、メッシュ細分化

1. はじめに

1.1. 構造解析の黎明期

1960 年代に始まった有限要素法の構造解析への適用は、1965 年に米国で開始された NASTRAN[1] の開発に代表される。日本においても、原子力分野専用の構造解析コードの開発[2]が 1970 年代半ばに開始された。それ以降しばらく、これらの構造解析ソフトウェアは、その時代の大型計算機において開発と運用が行われてきた。この構造解析の黎明期には、他の分野でも幾つものすぐれたソフトウェアが生まれている（例えば[3]）。現在使用している科学技術計算ソフトウェアの基本原則は、この時代に確立された技術が多くを占めている。この時代は、現在から見ると、演算性能やメモリ量が驚異的に低かった時代であった。しかし、そのような制約条件のもと先達のおどろくべき努力により、これら

の優秀なソフトウェアが生まれた。この黎明期を、構造解析の第 1 世代と位置付けることができるであろう。

1.2. 高速な計算機での構造解析へ(1)

1970 年代から 1980 年代では、より精度の高い設計を行うための非線形解析が本格的に研究され、実用化される時代に入った。1980 年代前半に登場した普及型のベクトル計算機により、構造解析においてはさらに高速な処理が可能となり、より複雑な解析が可能となってきた。さらに、ベクトル計算機は、既存のコードを高速化するためのチューニングが容易であったため、高速な処理を必要とする機関・会社等ではベクトル計算機を導入し、その利用範囲は急速に拡大した。また、この時期は、現在普及している非線形構造解析を得意とする商用コードのベースが出そろった時代でもあった。さらに、大型計算機から、当時 EWS と呼ばれていた比較的手軽

*アドバンスソフト株式会社 技術第 5 部

5th Technical Division, AdvanceSoft Corporation

な計算機への科学技術計算ソフトウェアの導入が始まった時期とも重なる。

これを本稿では、第2世代と位置付ける。このように、1980年代のハードウェアの進歩により膨大な演算量のシミュレーションが可能となる時代の幕が開き、時代の流れはより複雑なより難しい非線形構造解析へと向かった。

1.3. 高速な計算機での構造解析へ(2)

ベクトル計算機の普及と同じ時期に、並列計算機は1980年代半ばから研究対象となっていた。その後、1990年代に入ってから、高価ではあったが、市販品が登場し普及し始めた[4]。

並列計算を実行するためのソフトウェアの開発環境および実行環境については、PVMの登場やMPI標準の作成により環境が整ってきた。構造解析の並列計算機による高速化の研究の初期段階では、線型連立方程式（ソルバー）の解法の並列化に研究が行われていた。表1に1990年代前半のNSF（米国国立科学財団）による米国のスーパーコンピュータティングセンター4拠点の計算機資源を示す（[5]より抜粋）。

表1 1991年における米国4拠点の計算機資源

機関名	機種名	総CPU数	合計メモリ
SDSC	Cray Y-MP	8	512MB
	Intel iPSC	32	256MB
	nCUBE2	256	1GB
PCS	Cray Y-MP	8	256MB
	CM-2	32,768	128MB
CTC	ES/3090	6	512MB
NCSA	Cray Y-MP	4	64MB
	Cray 2S	4	1GB
	CM-2	32,768	256MB
	Convex C240	4	1GB

※ SDSC: San Diego Supercomputer Center、
PSC: Pittsburgh Supercomputing Center、
CTC: The Cornell Theory Center、
NCSA: National Center for Supercomputing Applications

1991年当時はここに示す計算機が最先端の機種であった。この時期は、ベクトル機と初期の並列計算機が併存している時期であった。また、[6]の調査によれば、1995年前後において、我が国ではベクトル計算機の台数が圧倒的に多かったが、世界全体ではベクトル機と並列計算機の数が拮抗していたことがわかる。

だが、並列計算機向けに既存のソフトウェアを高速化用にチューニングすることは、ベクトル計算機へのチューニングよりはるかに困難であった。そのため、並列計算機の普及はベクトル計算機の普及よりもかなり遅いスピードであったと感じられた。また、欧州では、より安価なタイプではあったが、並列計算機の普及が比較的速かった[7]。

また、ベクトル計算機はその集積回路の特殊性により、量産品として安価になることはなく、価格の面で身近な計算機として普及するには壁が高かった。ベクトル型を中心とした米国のスーパーコンピュータの生みの親であるシーモア・クレイ氏が、1996年9月22日に自動車事故で亡くなる時に構想していたのは、ベクトル型のスーパーコンピュータではなく、現在の並列計算機のようにIntel社製チップを512個並べたタイプの計算機であった[8]。このような事例からも分かるように、時代の流れは1CPUでのベクトル計算機から並列計算機に向かっていたのではないだろうか。

1.4. 大規模構造解析の時代へ

一方で、1990年代半ばには、日本ではベクトル並列型計算機である地球シミュレータが計画された。この開発計画を契機に、大規模な並列計算機向けの計算科学ソフトウェアを開発する幾つかのプロジェクトが始まった。日本ではGeoFEMプロジェクト[9]等で地球シミュレータ向けのソフトウェアの開発が開始された時代である。

当時の並列計算機は現在よりもかなり高価であったが、1990年後半以降は、並列計算による大規模計算が実施可能であるソフトウェアが幾つも出現した。この時期に開発が開始されたソフトウェアは、並列計算のアーキテクチャーを前提としたソフ

トウェアとして設計された。この時代を第3世代と位置付けることができるであろう。

現在当社で販売している Advance/FrontSTR のベースとなったソフトウェアが開発されたプロジェクトである文部科学省 IT プログラム「戦略的基盤ソフトウェアの開発」[10]は 2002 年から開始された。このプロジェクトは、並列計算機をはじめとした最先端のハードウェアを有効利用し、開発したソフトウェアを産業界に普及させることをひとつの目的として実施された。

この第3世代の中では、大規模構造解析の規模が年を追うごとに上がっていった。その中では、自由度が億を超える研究例が幾つも報告された。しかし、第3世代では大規模計算が可能になったものの、まだ、並列計算機が高額であったこと、および、大規模構造計算を行う場合にどのようにしてデータを作成し、どのように解析を実行するのかという面では、手探り状態であった。

1.5. 大規模構造解析の普及の時代へ

2010 年が近くなると、CPU とメモリ非常に安価になったこと、および、並列計算機に対するソフトウェアのアルゴリズムの評価がひとまわりしたこと、および、インターネットの普及で並列計算機における良質なソフトウェアがライブラリとして容易に利用できるようになってきたことから、比較的手軽に並列計算機を導入できるようになった。現在（2011 年時点）では、例えば、64CPU（コア）の計算機の本体のみならば数百万円で購入できるため、民間企業での並列計算機導入のハードルは下がってきたと言える。従って、現在は、そのためのソフトウェアも普及させ、安価な並列計算機を利用して手軽に大規模構造解析が可能になるという第4世代に突入していと考えている。

アドバンスソフトでは、このような認識のもと、高速な並列計算を可能とする大規模構造解析のソルバーはもちろんのこと、大規模構造解析を実施するためのいろいろな手段を開発している。例えば、今回のリリースに含まれるアセンブリ機能やリファイナー機能は、その一部である。アセンブリ機能

を利用すると、部分毎にメッシュやその境界条件を作成したのちに、全体を合わせることができるため、メッシュ作成にあまり手間をかけずに大規模構造解析を実施するひとつの方法である。また、リファイナー機能を利用することで、大規模構造解析全体の見通しが立つとともに、全体のデータのハンドリングも容易になる。

2. 開発の経緯と当社での開発

Advance/FrontSTR のベースとなる FrontISTR は、文部科学省の次世代 IT 基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトで、開発された。このプロジェクトの中で、アドバンスソフト株式会社は「構造解析ソフトウェア FrontISTR における材料・幾何学的非線形機能の作成」等の業務を担当し、従来の成果に加え、幾何非線形・材料非線形・接触非線形解析機能を開発した[11]。

国のプロジェクトで開発されたソフトウェアは、<http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/dl/> にて公開されている。アドバンスソフト株式会社では、このソフトウェアを実用化するために、プリポストとともに独自に改良を進め、商用パッケージソフトウェア Advance/FrontSTR Ver.4.0 として販売保守を行っている。

公開されているソフトウェアと、当社で独自に改良および開発を継続している Advance/FrontSTR との違いは次の通りである。

- ① 非線形問題および線型ソルバーの収束性の強化、および、各種要素の開発および追加および強化を図っている。
- ② 公開版では、別々のプログラムとされている接触機能と非線形材料解析機能等をひとつにまとめ Advance/FrontSTR として統合している。
- ③ プリポスト Advance/REVOCAP と一体化した解析機能を提供している。特に、アセンブリ機能、リファイナー機能の実用化を中心に強化している。また、Advance/REVOCAP の 64bit 版も独自に提供している。

また、Advance/REVOCAP は流体解析と構造解析が共通のプリポストとして利用可能なシステムであり、このことは特に連成解析では重要である。

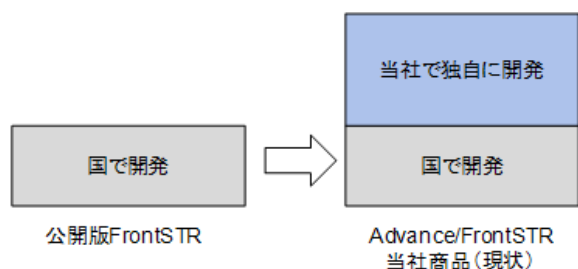


図 1 当社で販売する Advance/FrontSTR

3. Advance/FrontSTR の特長

Advance/FrontSTR は、大規模並列計算汎用有限要素法構造解析プログラムであり、静解析、固有値解析、熱解析および動解析に関する 3 次元解析が可能であり、先進性と実用性を兼ね備えた汎用構造解析ソフトウェアとして、進化を続けている。

先にも述べたように、Advance/FrontSTR により大規模構造解析をより手軽に実行することを目的として独自の開発を実施している。その特長は次の 5 つの項目である。

- ① 大規模並列計算が可能で、高い並列効率。
- ② 多くの CPU (コア) を利用しても、追加料金がかからないシンプルな価格体系。
- ③ 低価格にもかかわらず、必要な機能を提供。
- ④ 開発者によるサポートおよびカスタマイズサービスを提供。
- ⑤ PC 上の 1CPU 版として手軽な解析も可能。

以下では、この特長に関して述べる。

第 1 の特長として、大規模並列計算における優れた並列性能がある。並列計算用に設計されているため、従来ソフトウェアに比べて非常に高い並列化効率を実現している。例えば、線型静解析 2 億自由度の問題を、1,152 コアの並列計算機を利用して、経過時間 30 分で解析した実績がある。

また、第 2 の特長は、並列計算実行時に多数の C

P U を利用してもライセンス料金は増加しない価格体系である。この特長により、ユーザーは所有している計算機資源を有効に利用できる。

第 3 の特長は、低価格にもかかわらず、必要な機能を提供していることである。例えば、接触機能、および、大規模並列計算向けの機能であるアセンブリ機能・リファイナー機能を提供している。また、汎用の非線形材料および幾何学的非線形の機能も有する。

第 4 の特長は、開発者によるサポートおよびカスタマイズサービスの提供である。当社はソフトウェアを開発した技術者を有するため、ソースコードを改良することが可能である。したがって、お客さまのニーズに合わせた改良が可能である。また、このことが、連成解析をも可能としている。お客様の問題毎に Advance/FrontSTR のソースコードを改良して、流体・音響解析等のソフトウェアと連成させた解析を実施した多くの実績がある。

最後に、第 5 の特長として、Advance/FrontSTR では、お手元のパソコンでの 1CPU 版として手軽な構造解析環境も提供している。

4. Advance/FrontSTR の機能

Advance/FrontSTR の解析機能の計算手法は、幾何学的／材料非線形／境界非線形静解析においては Total Lagrange 法および Updated Lagrange を、固有値解析にはランチョス法を、線形動解析の過渡応答問題には直接積分法を採用している。また、非線形問題では、ニュートン・ラフソン法による繰り返し計算手法を用いている。

また、従来からの解析機能に加え、熱弾塑性／粘弾性／粘塑性、動解析における材料非線形／幾何学的非線形、また、要素もシェル要素 (3 角形／4 辺形、1 次／2 次、MITC 要素)、梁要素 (1 次／2 次／3 次、MITC 要素)、トラス要素 (1 次／2 次／3 次)、マス要素を充実させた。これらについては、本誌の技術ノート「接触要素の開発」で詳細に述べる。

ライセンスに関しては、従来と同じく、1 ユーザーのライセンスで CPU 利用数は無制限である。

並列計算機をお持ちのお客さまは、すぐにでも処理時間の短縮が可能となる。

表 2 に、Advance/FrontSTR Ver.4.0 の解析機能一覧を示す。

表 2 Advance/FrontSTR Ver.4.0 解析機能一覧

項目	内容
静解析	熱応力解析を含む応力解析
・幾何学的非線形	Total Lagrange 法 ／Updated Lagrange 法
・境界非線形 (接触)	Augmented Lagrange 法、 有限すべり、摩擦
動解析	直接積分法 (陽・陰解法)、 モード解析
・直接積分法	中央差分法／Newmark- β 法
・固有値解析	ランチョス法／その改良法／モード合成法
	時刻歴応答解析／モード解析
熱解析	定常／非定常解析 (陰解法)
材料ライブラリ	温度依存性を含む材料
・弾性材料	弾性、超弾性、粘弾性
・非弾性材料	等方／移動／複合硬化等の弾塑性、 粘塑性、熱弾塑性
要素ライブラリ	連続体要素、構造要素
・ソリッド要素	4 面体／6 面体／プリズム／ピラミッド、 1 次／2 次、非適合モード、B-bar 要素など
・シェル要素	3 角形／4 辺形、1 次／2 次、MITC 要素
・梁要素	1 次／2 次／3 次、MITC 要素
・トラス要素	1 次／2 次／3 次
・その他	接触要素、マス要素
大規模解析支援	アセンブリ構造対応、 メッシュ細分化 (リファイナー)

さらに、当社では、先端的な大規模構造解析を実用化すべく Advance/FrontSTR を開発しているが、設計に生かすことのできる大規模構造解析を行うためにも、シミュレーションのすそ野を広げなくてはならないと考えている。そのため、並列計算を除いた機能で、一連の構造解析がパソコンで簡単に動作できるようにした Advance/FrontSTR と

Advance/ REVOCAP をセットした普及版も提供している。

5. 大規模解析を容易にするための機能

現状では、大規模解析を手軽に行いたいというニーズが多く、このようなお客さまの要望も含め Advance/FrontSTR Ver.4.0 およびそのプリポストである Advance/REVOCAP では、大規模解析のためにいろいろな手段を提供している。このための代表的な機能が次の 3 機能である。

- ① アセンブリ機能：部分的に作成したメッシュを組み上げる機能[12][13]
- ② リファイナー機能：自動的にメッシュを細分化する機能[14][15]
- ③ 大規模解析向きソルバーの改良：並列計算向け機能の改良

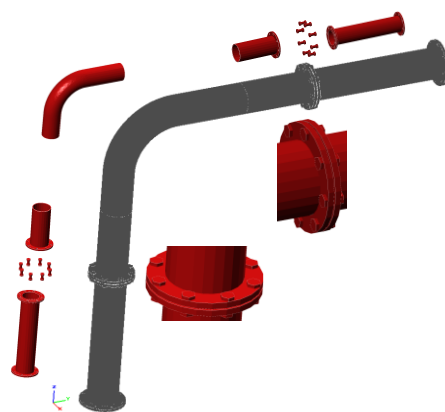


図 2 アセンブリ解析例[12]

このうち、①および②は、プリポストの処理時間とソルバーの処理時間を含めたトータルな処理時間の短縮を実現する。これらの機能は、[10]の成果を改良したものである。また、③については、従来のソルバーの並列性能をさらに向上させた。これらの機能の組み合わせにより、ユーザーそれぞれの方法での大規模構造解析を提案している。本誌の特集では、①は「Advance/ FrontSTR の部品アセンブリ解析機能」[12][13]に、②は「Advance/ FrontSTR のメッシュ細分化機能「リファイナー」」[14][15]に、③の一例として「Advance/ FrontSTR の固有

値解析機能のベンチマーク解析」の記事にその詳細な内容を示した。また、[16]に示したような次世代に向けた独自のアルゴリズム開発も継続している。

6. おわりに

当社では、国のプロジェクトで開発されたソフトウェアをベースに、改良を重ねた構造解析ソフトウェアとして Advance/FrontSTR を販売しており、本稿ではその概要について述べた。また、当社では、次のようなサービスを提供している。

- ・ Q&A サービス
- ・ バージョンアップ版等のご提供
- ・ 導入トレーニング、コンサルティング
- ・ お客様向けにカスタマイズした機能をご提供

これらのサービスを通して、大規模計算を身近なものと感じていただき、それを実現するソフトウェアとして Advance/FrontSTR を、ひとりでも多くのお客様のツールとして利用していただくことをわれわれの喜びとしている。我々は、そのためのソフトウェアを提供するために、日夜、努力を重ねて行く所存である。

参考文献

- [1] “Spinoff”, National Aeronautics and Space Administration Office of Aeronautics and Space Transportation Technology Commercial Programs Division(1998)
- [2] 岩田耕二ら, 動燃技報, 第 40 号(1981.12)
- [3] Laurence W. Nagel, “SPICE2: A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuit”, Memorandum No. ERL-M520, University of California Berkeley(9 May 1975)
- [4] 渡辺貞, “究極の技術への挑戦”, <http://home.jeita.or.jp/is/jeitakouza/kyouzai/toudai/07t.pdf>
- [5] 有馬朗人,村上周三,金田康正共編,富士総合研究所協力 “アドバンスト・コンピューティング—21 世紀の科学技術基盤—”, 培風館(1992)
- [6] 西川宜孝,松原聖,永野勝尋,小池秀耀, “超並列コンピューティングの現状と動向”,富士総研技報告, Vol.5, No.1, (1995.05)
- [7] 戦略的基盤ソフトウェア産業応用推進協議会編, “21 世紀の産業革命—コンピュータ・シミュレーション—”, アドバンスソフト出版 (2005)
- [8] チャールズ・マーレイ, “スーパーコンピュータを作った男—世界最速のマシンに賭けたシーモア・クレイの生涯—”, 廣済堂出版(1998)
- [9] 科学技術振興調整費「GeoFEM プロジェクト」
<http://geofem.tokyo.rist.or.jp>
- [10] 文部科学省「戦略的基盤ソフトウェアの開発」
<http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/fsis/index.html>
- [11] 袁熙, “Advance/FrontSTR Ver. 3.0 の非線形解析機能について”, アドバンスシミュレーション, Vol.4(2010)
- [12] アドバンスソフト, “Advance/FrontFlow/red, Advance/FrontSTR のご紹介”, 第 32 回関西 C A E 懇話会(2011.5)
- [13] 末光啓二, “FrontISTR の機能紹介”, 第 3 回統合ワークショップ (次世代ものづくり), 文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」 (2011.02.25)
- [14] 吉村忍, 徳永健一ほか, “並列連成解析システム REVOCAP を用いた流体構造連成解析”, 第 59 回理論応用力学講演会(2010.6)
- [15] 徳永健一, “REVOCAP_PrePost と REVOCAP_Refiner”, 第 3 回統合ワークショップ (次世代ものづくり), 文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」 (2011.02.25)
- [16] 松原聖,桑原匠人, “大規模固有値計算プログラム Advance/NextNVH”, アドバンスシミュレーション, Vol.4(2010)