

# オンラインセミナー

# JAMSTEC 発 最先端 DEM (離散要素法) 技術製品化 記念 技術セミナー

2022年3月18日(金)開催

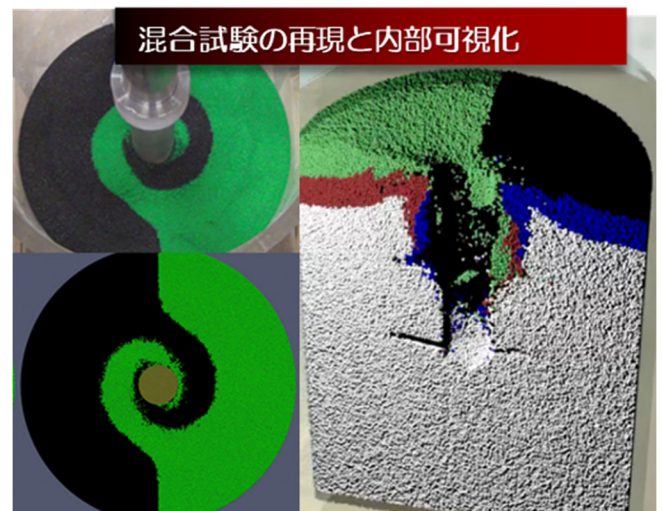
## プログラム

1. アドバンスソフト株式会社のご紹介 主催者あいさつ ..... 1

### 招待講演

2. 「動的負荷分散対応 DEM シミュレーションコード『DEPTH』について」 ..... 5  
国立研究開発法人海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門  
数理科学・先端技術研究開発センター 計算科学・工学グループ  
グループリーダー 古市 幹人 様

3. 価格および関連サービス のご紹介 ..... 27





# アドバンスソフト株式会社のご紹介

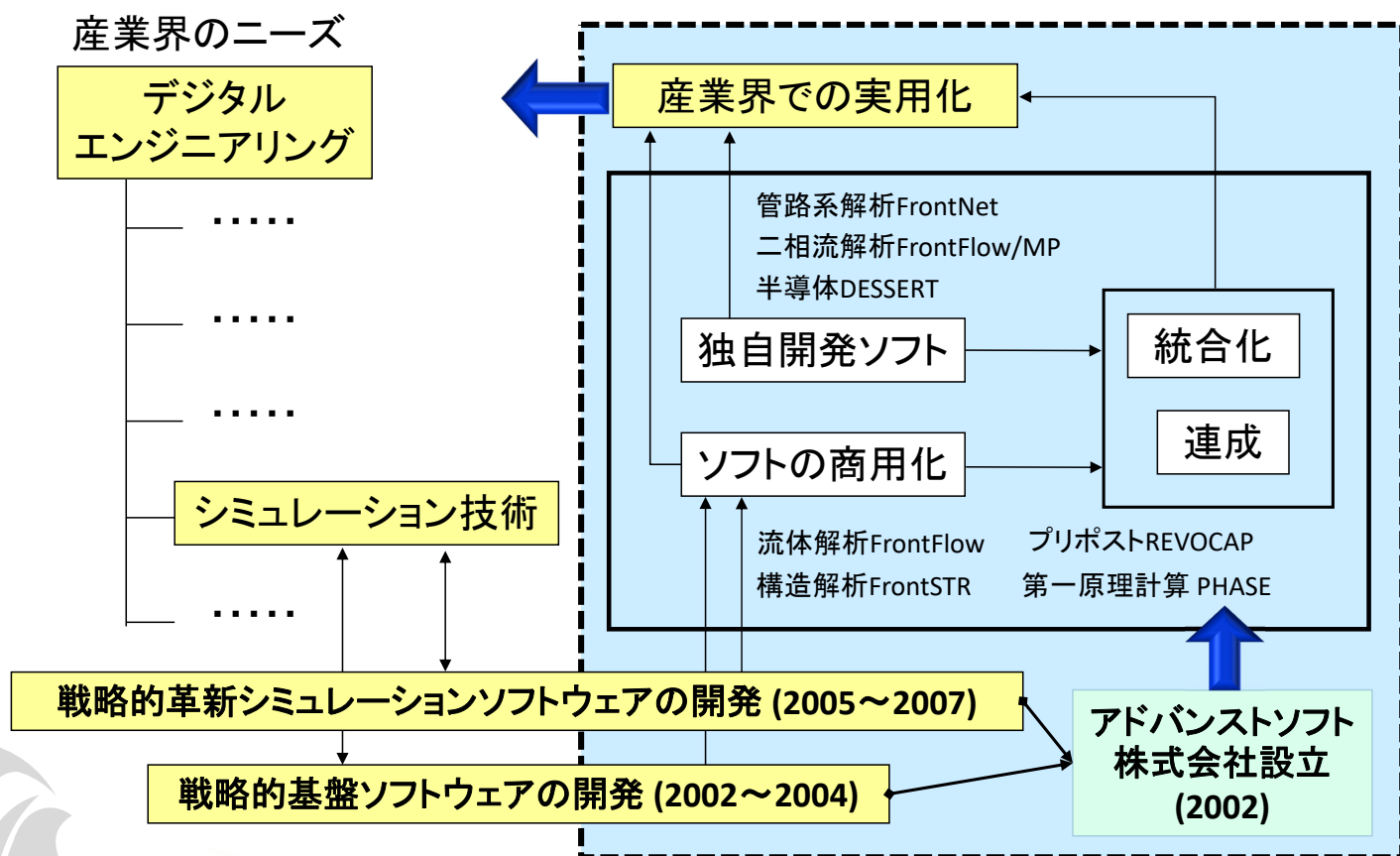
JAMSTEC 発 最先端 DEM (離散要素法)

技術製品化 記念 技術セミナー

2022年3月18日 (金) 開催

アドバンスソフト株式会社

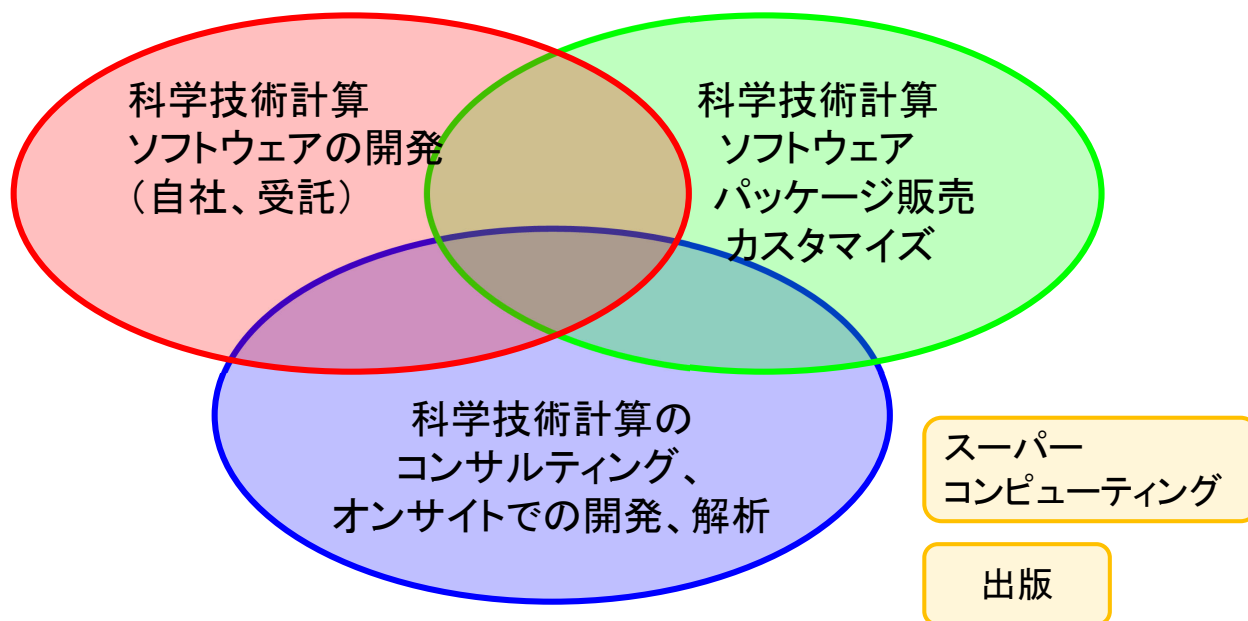
## アドバンスソフトとは



# 事業内容

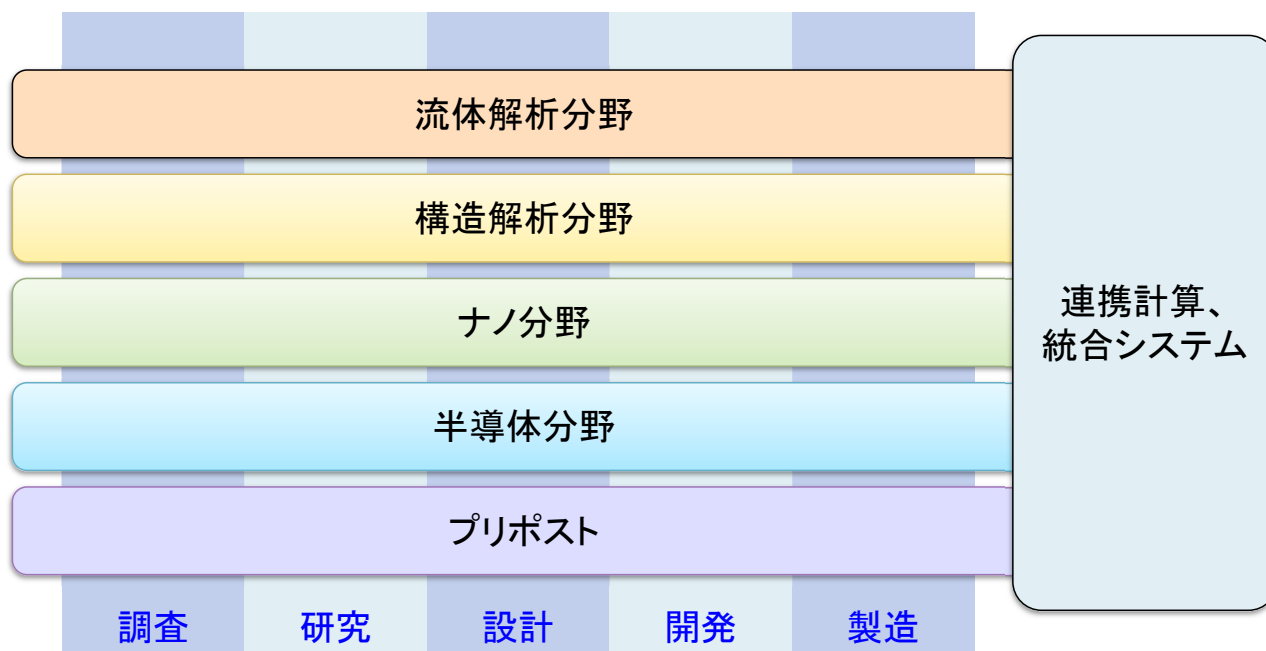


## アドバンスソフトがご提供するサービス



科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、  
科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。

# 事業分野



産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、  
科学技術計算によるソリューションをご提供します。

# facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中



<http://www.facebook.com/advancesoft.jp>

<http://www.youtube.com/user/advancesoft>



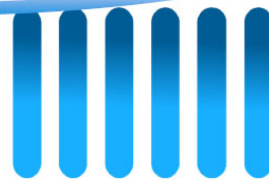
# 製品化までの経緯



## 大学や公的機関が開発した ソフトウェアの整備・普及事業

わが国の大学や公的機関で開発された優れたソフトウェアが産業界に普及するには長期的な保守体制が不可欠であり、民間企業による自律的な発展が必要です。

アドバンスソフト株式会社は、大学や公的機関が開発したソフトウェアを整備・普及する事業を行っております。



アドバンスソフト株式会社が事業化している主なソフトウェアパッケージ一覧

No.	ソフトウェア名	開発機関	内容
1	Advance/FrontFlow/red*	東京大学等とアドバンスソフト	流体解析ソフトウェア
2	Advance/FrontSTR*	東京大学等とアドバンスソフト	構造解析ソフトウェア
3	Advance/REVOCAP(ADAP)*	東京大学等とアドバンスソフト	汎用プリポストプロセッサ
4	Advance/PHASE*	東京大学等とアドバンスソフト	第一原理バンド計算ソフトウェア
5	Advance/TCAD	国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) とアドバンスソフト	半導体デバイス3次元TCADシステム
6	Advance/OCTA**	東京大学 土井正男教授	ソフトマテリアル解析シミュレータ
7	Advance/FaSTAR	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA)	圧縮性流体解析ソルバー
8	T-STOC	国立研究開発法人港湾空港技術研究所 (PARI)	津波シミュレータ

# 製品化までの経緯



## ■ アドバンスソフトとJAMSTEC

- ・大規模計算のための並列化、高速化
- ・地球シミュレーターの産業利用
- ・活動の中でDEPTHと出会う



# 動的負荷分散対応 DEM シミュレーション コード『DEPTH』について



古市 幹人、西浦泰介

国立研究開発法人海洋研究開発機構  
付加価値情報創生部門 数理科学・先端技術研究開発センター  
計算科学・工学グループ

**JAMSTEC**  
JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY

海洋研究開発機構 (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology : JAMSTEC ジャムステック) は国立研究開発法人。観測船等を用いて海洋、大陸棚、深海などを観測研究すると共に、地球シミュレータなどの大型計算機を用いて、地球内部・地震・気候変動などのシミュレーション研究をする。

Earth Simulator

**海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ産業利用**

海洋研究開発機構では、我が国の海洋地球科学と関連分野の研究だけでなく、産業界等の活動に貢献し、イノベーション創出を推進することを目的として、2種類の特徴あるスーパーコンピュータ、地球シミュレータと大型計算機システム(Data Analyzerシステム)を研究・開発・設計・製造や教育などに広くお使いいただけるような枠組みを用意しています。

200  
200  
201  
202

40台で  
ありま  
構成され  
OPSの  
ます。  
ンド幅  
504  
10.5TB  
100.5TB  
© All Rights Reserved

数理科学・先端技術研究開発センター

計算科学・工学グループ

グループリーダー [主任研究員]	高市 敦人
グループリーダー代理 [主任研究員]	高橋 慶介
[主任研究員]	Etienne Barbier
[副主任研究員]	宮藤 聖
[主任研究員]	高部 祥也子
[専任研究員]	山崎 保子
[臨時研究員補助員]	石渡 千香子
[臨時研究員補助員]	野口 福宏
[招聘上席研究員]	山本 由宏
[招聘上席研究員]	阪手 新
[招聘上席研究員]	高見 英人
[招聘主任研究員]	野村 直
[招聘研究員]	細野 七海
[招聘研究員]	大藤 逸平
[招聘後援研究員]	北村 あずさ
[研究生]	辻 翔平
[研究生]	Moriwaki Daniel Shiguro
[主任研究員]	Jian Chen
[主任研究員]	Saeed Reza Amini Naei

←我々のグループでは大規模粒子法計算を駆使して、計算科学、固体地球、防災、及び地盤工学の諸問題の解決にチャレンジしています。

→我々のグループから、DEMのソフトウェアを販売することになりました！（アドバンスソフトより）

超並列計算機対応の粒子法シミュレーションソフト

# DEPTH-1.0

価格：200万円/年番  
2000万円/年番

**粒子法 (DEM・SPH)**

- 粒子間の相互作用を考慮して多粒子系の運動を計算する
- 固体工学・土質工学・化学工学・航空宇宙などの分野で研究開発・実用アプリケーションとして利用される

**超並列計算**

- 多数のCPUを併用することで大規模高速計算を実現する
- 超並列粒子法シミュレーションを実現する

**DEPTHの特徴**

- 超時空間計算法によるハイブリッド計算を実現した粒子法の超並列高速演算ソフトウェア
- CADデータから高精度な形状の構築を実現している
- 流体 (SPH) と接触体 (DEM) の混成計算が可能
- Micro-VRGとParaViewによる可視化機能

ソフトウェアの活用事例

- DEMによる土体崩壊計算
- DEMによる土体崩壊計算
- DEMによるセメントパッキング計算
- CADデータに基づく接触計算

ソフトウェアの活用事例

© All Rights Reserved

## 今日の趣旨

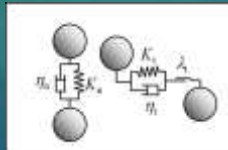
- DEPTH (DEM based Parallel multi-physics simulator) は JAMSTEC で開発を進めている離散要素法 (DEM: Discrete Element Method) を主体とした大規模粒子法計算ソフトウェア。
- DEPTH は分散メモリ環境における独自の動的負荷分散機能を有しており、現在学術論文における最高粒子数、24 億 DEM 粒子計算の実績があります。
- 大規模粒子法計算の活用促進を目的とし、DEPTH を製品化することになりました。
- 本セミナーでは技術概要や適応事例および開発ロードマップを紹介いたします。

## DISCRETE ELEMENT METHOD (DEM)

- 個別要素法: Discrete element method (DEM) は粒子法の一つ。個々の粒子の運動を摩擦接触を考慮した運動方程式を解くことで Lagrange 的に追跡し全体の運動を表す方法。
- DEM は粉体工学における最適化手段の柱の一つ
- DEM は地球科学・物理学において摩擦要素の集団運動という普遍的なテーマに挑戦するツール

$$m\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}_b + \sum \mathbf{F}_c,$$

$$\mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\omega}} = \sum \mathbf{T}_c,$$

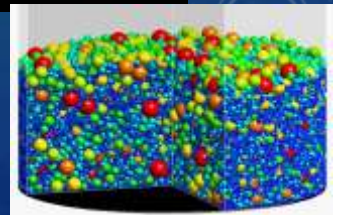


$$\mathbf{F}_c^n = K_{ij}^n \delta_{ij}^n + \eta_{ij}^n \mathbf{v}_{ij}^n,$$

$$\mathbf{F}_c^t = \min(|\sum K_{ij}^t \Delta \delta_{ij}^t + \eta_{ij}^t \mathbf{v}_{ij}^t|, \mu |\mathbf{F}_c^n|) \mathbf{t},$$

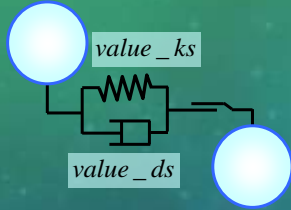
$$\mathbf{T}_c = r_t \mathbf{n} \times \mathbf{F}_c^t - \mu_r r_n |\mathbf{F}_c^n| \sqrt{1 - \frac{(\mathbf{n} \cdot \boldsymbol{\omega})^2}{|\boldsymbol{\omega}|^2}} \frac{\boldsymbol{\omega}}{|\boldsymbol{\omega}|}$$

- 粘弾性接触
- クーロン摩擦
- 転がり摩擦



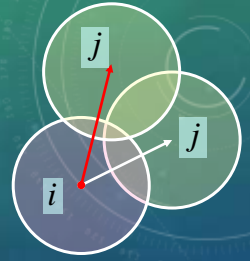
# DEMは特別な粒子法

❖ Tangent force  $F_t = F_{t\_prev} + \Delta F_t + \Delta t$



$$F_{t\_prev} = oF_t + \alpha_{cnv} \times \alpha_{ucnv} \times oF_t$$

粒子ペア毎にデータを保持する必要あり

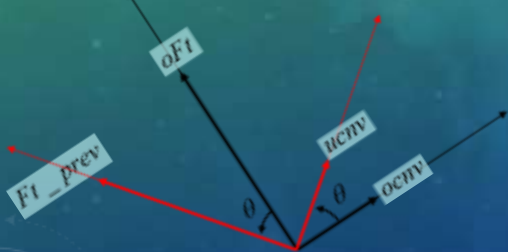


$$\Delta F_t = -value\_ks * \Delta x_{c\_t} \quad \text{Spring}$$

$$\Delta t = -value\_ds * v_{c\_t} \quad \text{Viscous relaxation}$$

$\Delta x_{c\_t}$  Increment of tangential displacement during  $\Delta t$

$v_{c\_t}$  Tangential velocity



-> Memory & computation intensive -> HPC !

## STATE OF THE ART DEM SIMULATION.

Box size = 1m\*1m\*1.8cm : <grain size> ≐ 113μm, #of particle = 1.9 B



# 大規模DEMシミュレーションへの挑戦

➢ DEMの並列化は、計算コストの空間的不均質性が時間的に変化する事と、接触摩擦の扱いが複雑であるため大規模並列化は最高ランクの技術開発

段階的な並列化技術開発が必要

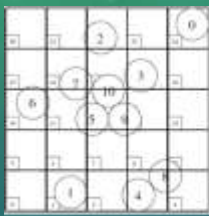


## 共有メモリ並列

➢ ソートに基づく参照表を用いた手法 [Nishiura and Sakaguchi, *J. Comp. Phys.*, 2011]

➢ 作用反作用モデル [Nishiura, Furuichi and Sakaguchi, *Comput. Phys. Comm.*, 2015]

1.セルへの粒子番号登録



粒子番号をソート

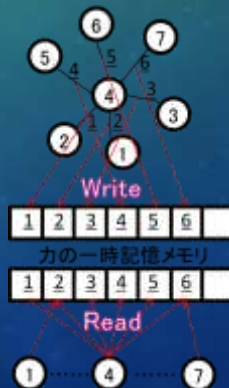


粒子番号の最小値と最大値を登録



2.相相互作用力の足し合わせ

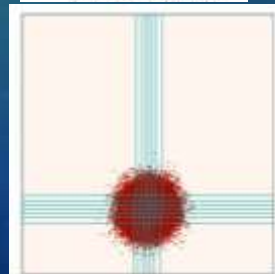
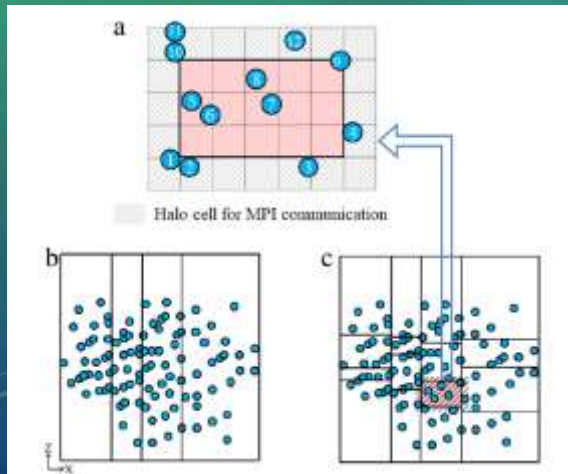
- ① Atomic\_add関数
- ② 作用反作用の法則を使わない
- ③ 参照表を使う



# 分散メモリ並列1

- 粒子位置をメッシュデータとして管理し改良スライスグリッドによりMPI空間領域分割
- 各粒子とprefixsumにより格納された粒子間ペアデータをMPI通信により同期。

複雑な実装 → [Nishiura, Furuichi and Sakaguchi, *Adv. Pow. Tec.*, 2021] (SPTJ Best Paper Award 2020)



[Tszuzuki and Aoki, 2014]

# 分散メモリ並列2: 擬ニュートン反復型ロードバランサー

[Furuichi and Nishiura, *Comput. Phys. Comm.*, 2017]

- MPI領域境界  $x_I^n$  に関数  $f$  を定義

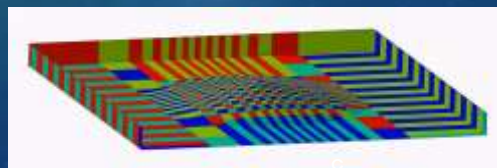
$$f^n(x_I^n) = t_I^n - t_{I-1}^n$$

- 関数  $f$  を残差とすることで負荷分散問題をノルム  $\|f^n(x_I^n)\|$  を最小化するという非線形問題に置き換え

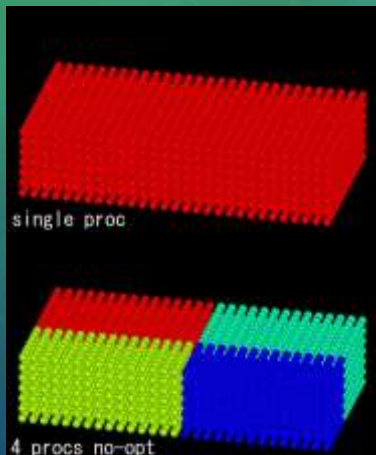
- ニュートン法の枠組みで反復的に境界位置を移動 [e.g. Furuichi and May, *Phys. Comm.* 2015]

$$x_I^{n+1} = x_I^n + \delta x_I,$$

$$\text{ここで } \delta x = -\alpha \hat{f}^{-1} f^n, \quad \hat{f} = \frac{f^n(x_I^n) - f^{n-1}(x_I^{n-1})}{(x_I^n - x_I^{n-1})}.$$

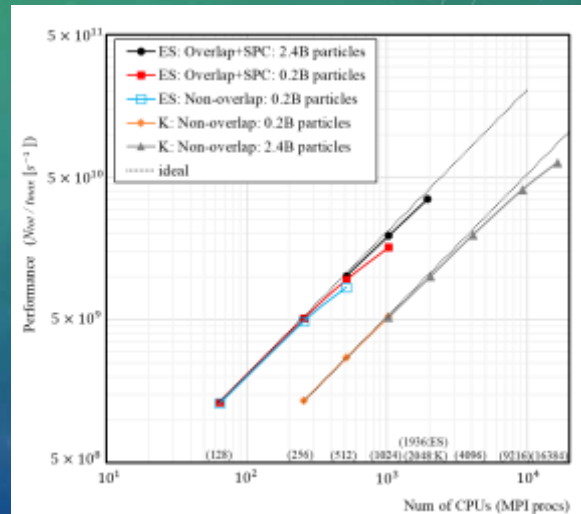


## 基本性能



Different colors identify different MPI processes.

[Nishiura, Furuichi and Sakaguchi, *Adv. Pow. Tec.*, 2021]

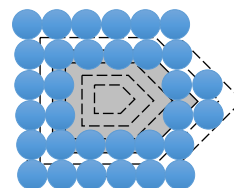
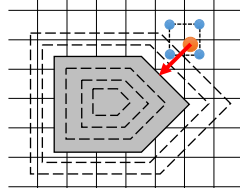
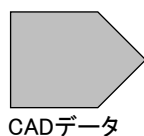


Strong/weak scalability of DEM on ES and K-computer

## プリプロセス用プログラム (PARMAN)

- CADデータから距離関数データを持った粒子を生成するプログラム
- CADデータはSTL形式に対応
- 粒子が距離情報を持って動くため数値拡散は生じない。
- 粒子を動かすだけなので、格子法における移流計算と比べれば非常に簡便で計算負荷も小さい。
- 粒子は境界近傍のみに配置すれば良いので、メモリ使用量も削減できる

粒子ベース符号付距離関数法による接触判定

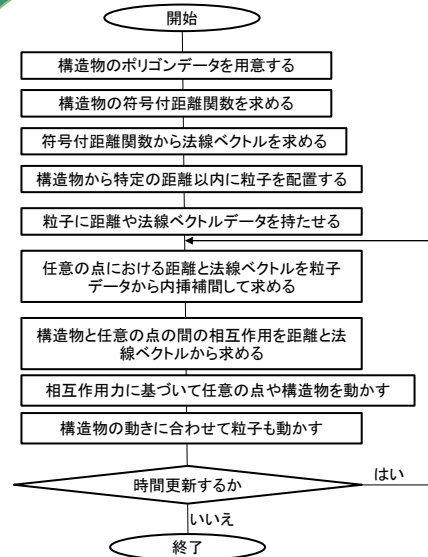
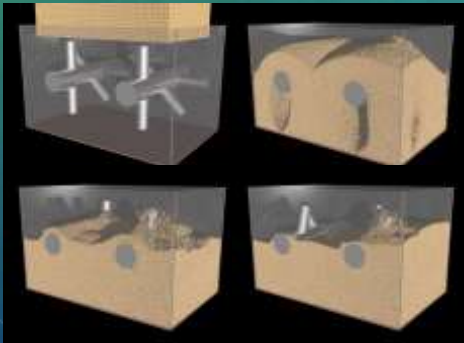


西浦 泰介、特許6671064

CADデータ



距離関数データ



## MPIサポートする他のDEMコードとの比較

### ➤ LIGGGHTS (Flat MPI, 3D (uniform) DD) C++

分子動力学コードLAMMPSから派生したDEM解析用のコードで、かなりチューニングが施されているのが特徴。我々の認識ではOpenMP非対応\*1、動的負荷分散もフリー版は非対応

\*1 オーストラリアの研究チームが2015年にOpenMPも対応したと論文出しているが現状非公開？

### ➤ ESyS-Particle (Flat MPI, Master-slave) C++

ESyS-Particle は古くからあるDEMのオープンソース。サポートは2016年あたりでストップ？DEPTHの方が早い

### ➤ OpenFPM (MPI OpenMP hybrid parallel, graph partition)

[Pietro et.al. *Comput. Phys. Comm.*, 2019]

### ➤ FDPS (MPI OpenMP hybrid parallel, 3D FR-DD) C++ and Fortran

重力多体問題N-body simulationのコード。DEMについても実装済み [\*Hosono, Furuichi, ICCS, 2019].

### ➤ その他のコードは基本的に共有メモリ並列ベース



# LIGGGHTS, ESYS AND DEPTH の比較1

- 自由落下モデルにおける各コードの直接比較
- Contact model:

$$F_c^n = K_{ij}^n \delta_{ij}^n + \eta_{ij}^n v_{ij}^n,$$

$$F_c^t = \min(\sum K_{ij}^t \delta_{ij}^t + \eta_{ij}^t v_{ij}^t, \mu |F_c^n|) t,$$

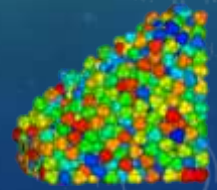
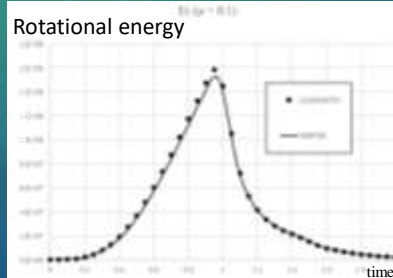
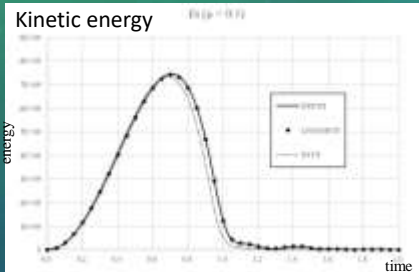
$$T_c = r n \times F_c^t$$

\*ESYS did not support Hertz model in the tangential direction.

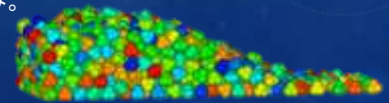
Hertz-Mindlin model:

$$K_{ij}^n = \frac{2E}{3(1-\nu^2)} \sqrt{\frac{r_i r_j}{r_i + r_j}} |\delta_{ij}^n|,$$

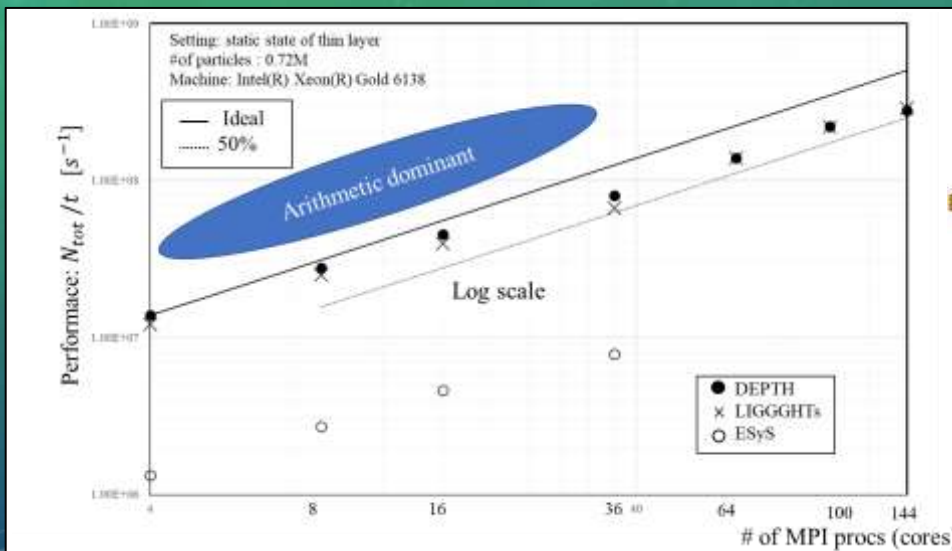
$$K_{ij}^t = \frac{3(1-\nu)}{(2-\nu)} K_{ij}^n,$$



- また、地盤工学会主催のDEM安息角ベンチマークにも参加し、良好であるとの中間報告を受けており、解の品質については随時検証を重ね、問題ないことを確認済み。



# LIGGGHTS, ESYS AND DEPTH の比較2



- DEPTH showed the best performance (10~20% and ~1,000% better than LIGGGHTS and ESYS) for practical use i.e. when arithmetic cost is dominant.

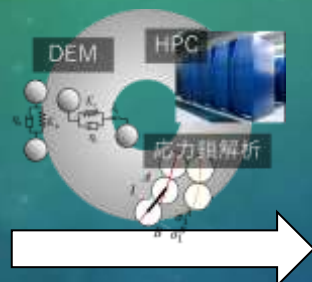
## DEPTHを用いた代表的成果のご紹介

- 実スケール数値砂箱実験による付加体形成研究（地球科学）
- 地盤混合機器の最適化（粉体工学）
- 地盤の遠心载荷シミュレーション（産業連携）

## 実スケール数値砂箱実験による付加体形成研究



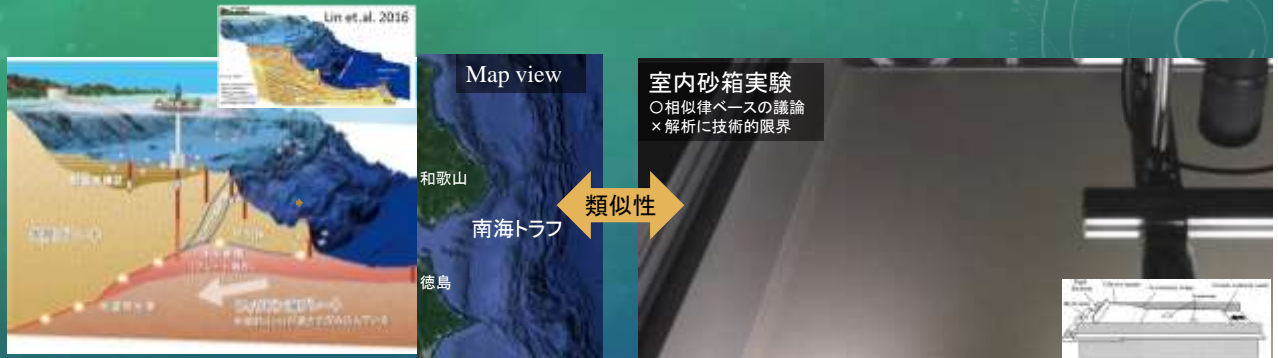
砂場でも見られる身近な現象



最先端の科学技術＝  
大規模粒子シミュレーション  
&大規模応力鎖可視化解析

地球科学における大問題の解決につな  
がるかも？

## 砂箱実験で紐解く付加体・断層形成過程



- 付加体形成、特に応力場の解明は、巨大地震や津波の発生や日本列島の形成にかかわる大問題。
- 短縮変形された砂層と付加体には幾何学的な類似性。
- 砂の静的な集団運動と上部地殻の非線形レオロジー（モール・クーロンの破壊基準等）も類似。
- 室内実験では詳細な3次元解析は困難（x線、音響、レーザースキャン等）

科学的な問い？ :なぜ初期状態で巨視的な不均質性が無いのに、断層形成は波打つのか？



# DEPTHが可能にする第一原理記述によるマルチスケールメカニズムの解明

## 室内砂箱実験



既往の大規模DEM



これまでのDEM研究は万～数百万個

## 数値砂箱実験

- 3次元応力場の解析
- スケール比 $10^4$ の直接解析



微視的：  
粒子1粒毎の動き

粉粒体の直接計算

巨視的：  
粉粒体の複雑な変形

## 応力鎖解析

- 粒子間力が強い粒子が鎖状につながる様が応力鎖。
- 強い応力鎖が材料挙動をほぼ支配。
- 室内実験では応力鎖解析はほぼ2次元、3次元は難しい。
- 数値計算では直接3次元解析が可能。

Peter et.al. *Phy rev E* 2005 の概要

1<sup>st</sup> step: 最大主応力ベクトルを各粒子毎に計算

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{V} \sum_{c=1}^{n_c} f_i^c r_j^c.$$

2<sup>nd</sup> step: 以下の基準を満たすものを応力鎖の候補とする

$$|\sigma_1| \geq \text{average} \quad \text{and} \quad \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) < \frac{|l\sigma_1^A|}{|l|\sigma_1^A|} \leq 1 \quad \text{and} \quad \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) < \frac{|l\sigma_1^B|}{|l|\sigma_1^B|} \leq 1$$

where  $l = X_A - X_B$ .

3<sup>rd</sup> step: 鎖の長さを数え上げ一定数以上のものを応力鎖とする。(我々の場合4粒子)  
→ 並列化可能なアルゴリズムで書き換え → SC18 poster

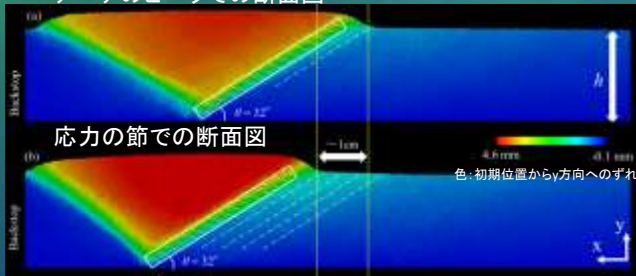


## 第一原理計算で発見したこと

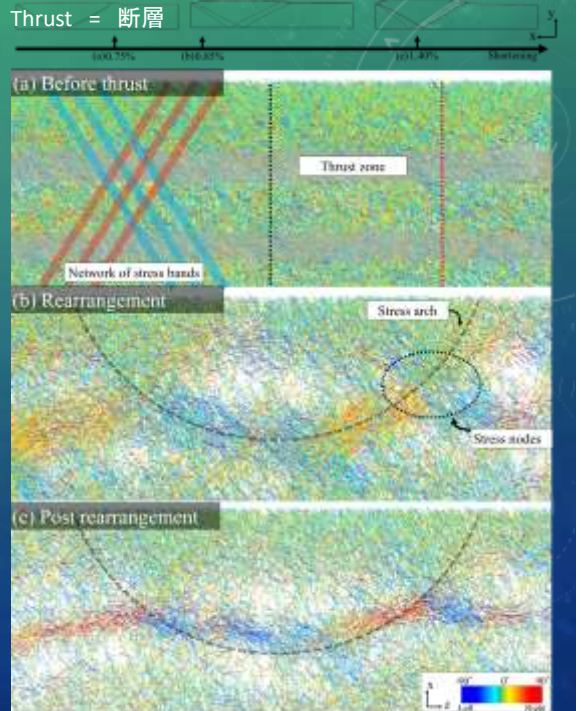
- ▶ 水平方向に応力鎖のアーチが自発的に形成。

応力バンドの形成 → 破壊領域が発生 → 伝搬 → 太くなった応力鎖が交差して固定化 → 応力アーチの形成 → アーチ構造の維持

アーチのピークでの断面図



応力アーチが波形状を決める



## 地球科学: 付加体の波模様の成因に新見解

● 既往研究

● 大規模DEMシミュレーション研究

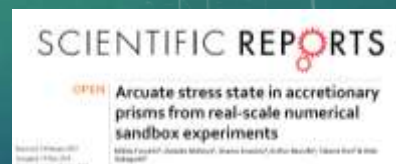


摩擦の空間分布 J. B. Ruh (2014)



海山 S. Dominguez (1998), P. Zweigel (1998)

✓ 巨視的な不均質が波模様の成因



[M. Furuichi et al., *Sci Rep.*, 2018]

海洋研究開発機構プレスリリース 2018年6月8日



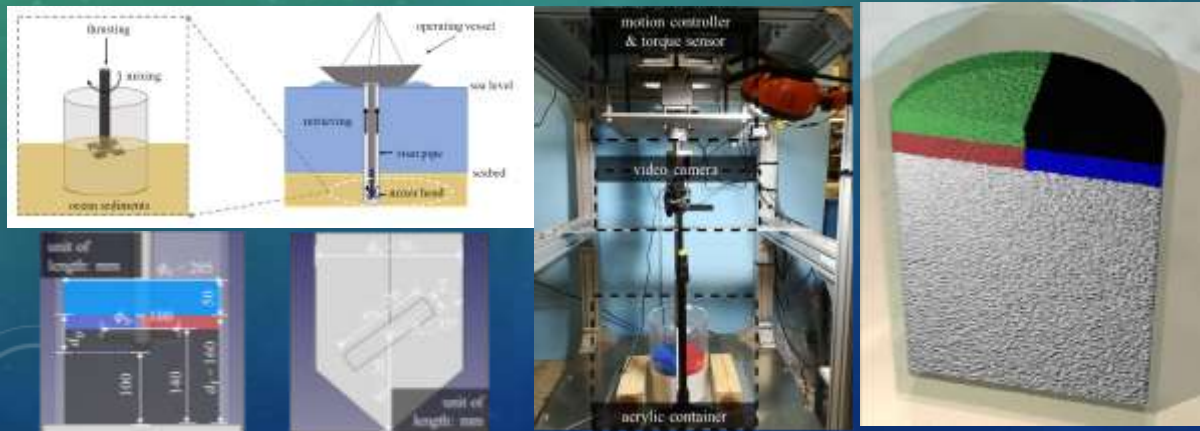
[Nishiura et al., *Adv. Pow. Tec.*, 2021]  
(SPTJ Best Paper Award 2020)

✓ 地殻と粉粒体に共に見られる、微視的な不均質と非線形なレオロジー挙動によって自発的に波模様が形成

## 地盤混合機器の最適化（粉体工学）

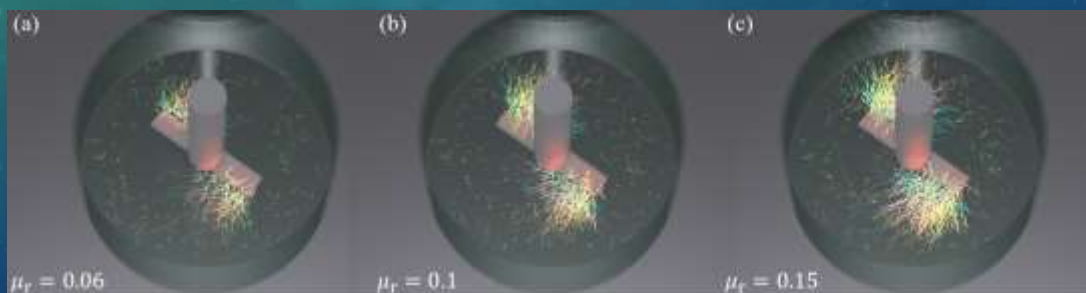
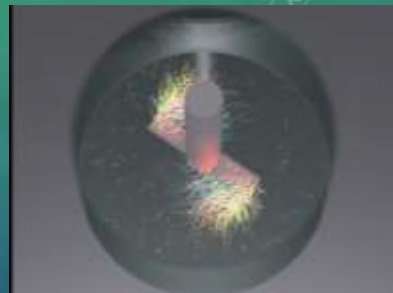
[Chen, J., et al., *Materials*. 2020,  
Chen, J., et al., *Powder Technol.* 2021, 2022]

- ブレードを用いた物質混合プロセスの最適化を海底資源研究開発の一環として実施。
- 色砂攪拌実験について、実実験とのキャリブレーションを実施
- ブレード角、ブレードサイズ、掘削速度、上層の厚さ、回転速度、容器サイズ等の影響因子を調査

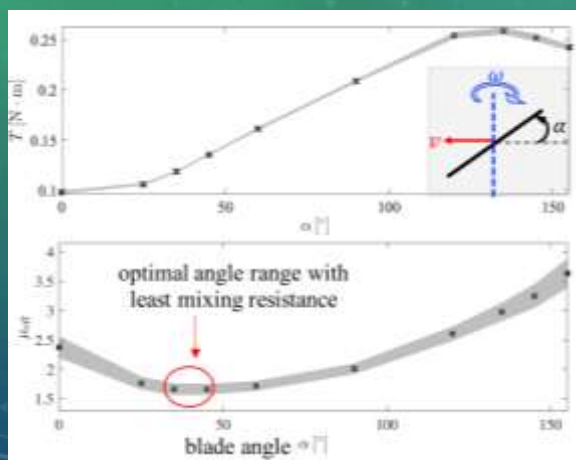


- 工学的用途においても、現実的な粒径及び粒子数を使用することは再現度において重要

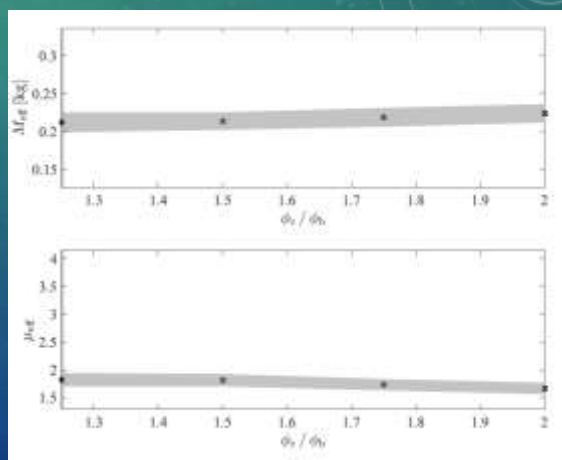
- 回転摩擦が応力鎖の発達に与える影響が特に大きいことが判明。
- 様々な粒状体素材のキャリブレーションにおいて回転摩擦の調整が有効である事を示唆



- 混合に際する抵抗を下げる要因として、ブレード角の最適化が有効なことを突き止めた。



異なるブレード角によるトルク及び混合効率の比較 (影響大)

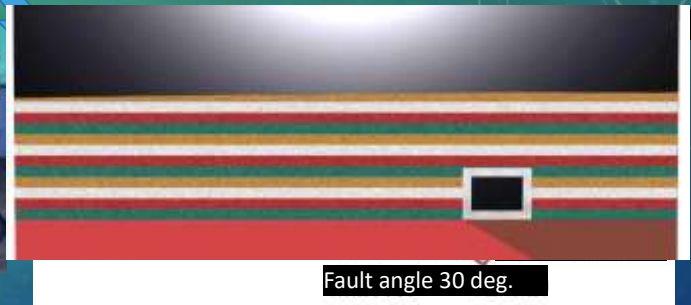


異なるブレードサイズと容器サイズにおけるトルク及び混合効率の比較 (影響少)

# 地盤の遠心载荷シミュレーション（産業連携）

[Nishiura et al., ICPMG, 2018]

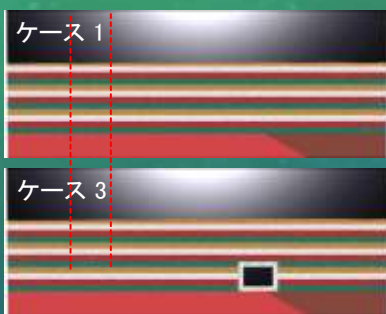
## 遠心载荷装置実験



- 遠心载荷装置では横ずれ断層の発達による地下構造物のダメージ評価を行えるが、時間と価格が問題。
- 土粒子一つ一つをモデル化したDEPTHによるデジタルツインの開発

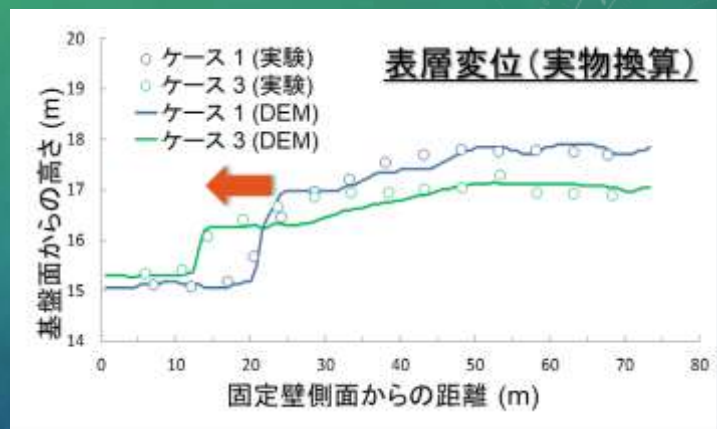
# 地盤の変形挙動

## 地盤変形



固定壁

可動壁

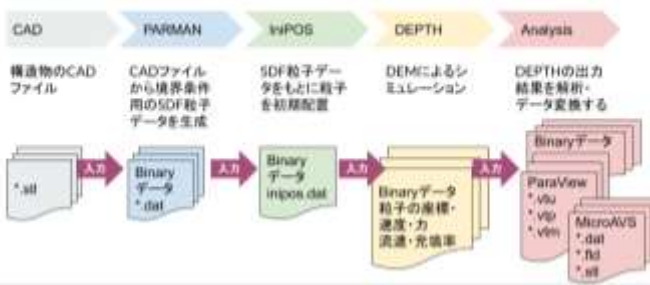


- 断層の角度は、可動壁の動く方向とほぼ一致している。
- 地中構造物が固定壁と可動壁を跨いで(断層直上に)設置されている場合、断層位置が固定壁側に平行移動する。これは、地中構造物の左下端から断層面が新しく発達することが原因している。
- 遠心模型実験で得られる土槽の表層変位や断層位置、地中構造物に働く土圧外力について再現することに成功

## DEPTH VER. 1.0の概要のご紹介

- DEM (Discrete Element Method) のシミュレーションプログラム
- 境界条件設定・粒子初期配置・DEM・データ解析で計4種類のプログラムを使用
- ユーザーによる編集操作が必要なのは設定ファイルとCADファイルのみ
- 解析結果の可視化は、ParaViewあるいはMicroAVSを用いて行う

### シミュレーションの流れ



### プログラムのファイル構成

```

DEPTH-1.0
├──.bin
│   ├──DEPTH_accfel_cdt.exe
│   ├──DEPTH_accfel_epsd.exe
│   ├──DEPTH_accfel_hs.exe
│   ├──DEPTH_vel_cdt.exe
│   ├──DEPTH_vel_epsd.exe
│   └──DEPTH_vel_hs.exe
├──.Analysis
│   ├──pvf_AVS.exe
│   ├──pvf_PV.exe
│   └──pvf_AVS_PV.exe
├──.PARMAN
│   ├──PARMAN_parts.exe
│   └──PARMAN_feeder.exe
├──.InitPOS
│   └──InitPOS.exe
├──.CAD
│   ├──L*Pad
│   └──feeder.stl
├──.Restart_Dirs
├──.DEPTH.bat
├──.Input_Parameter.txt
└──.Readme.pdf
    
```

▶LinuxおよびWindows環境で実行可能、各々充実したマニュアルを準備



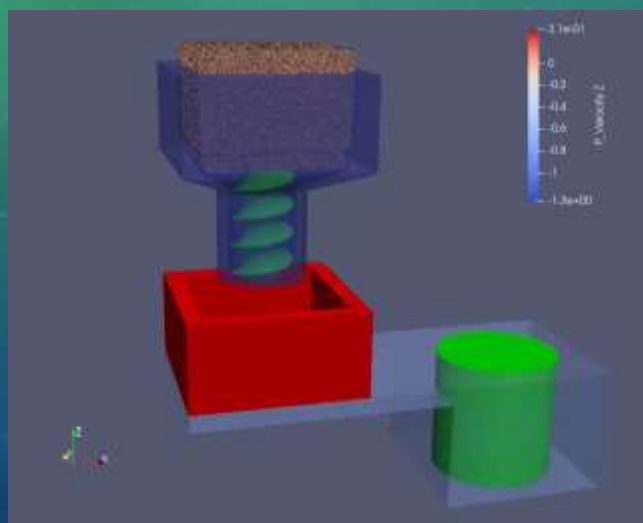
Windowsはバッチで実行

```
ex.) DEPTH-1.0> DEPTH.bat $(Restart_NUM) $(Program_Name)
$(Restart_NUM): 今回の実行が何回目かのリスタート計算を示す整数値 (0,1,2,3,...)
$(Program_Name): 実行するプログラム名 (DEPTH, Analysis)
```

Linuxはシェルで実行

```
ex.) [User@host ~]$ cd DEPTH-1.0
[User@host ~]$ ./Analyze.sh $(Restart_NUM) $(Program_Name)
$(Restart_NUM): 今回の実行が何回目かのリスタート計算を示す整数値 (0,1,2,3,...)
$(Program_Name): 実行するプログラム名 (DEPTH, Analysis, clean)
```

サンプル問題



## 今後の機能拡張についてのご紹介

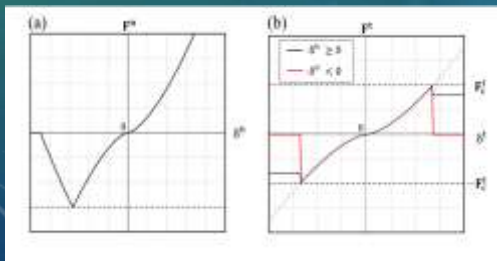
### ➤ 各種相互作用モデルの拡充(2022年度～)

Lubrication forces

$$F_l^n = \frac{3\pi\eta h a^2}{2h} \mathbf{v}_{ij}^n$$

$$F_l^t = \frac{\pi\eta h}{2} \left( -2a + (2a + h) \ln \frac{2a + h}{h} \right) \tilde{\mathbf{v}}_t$$

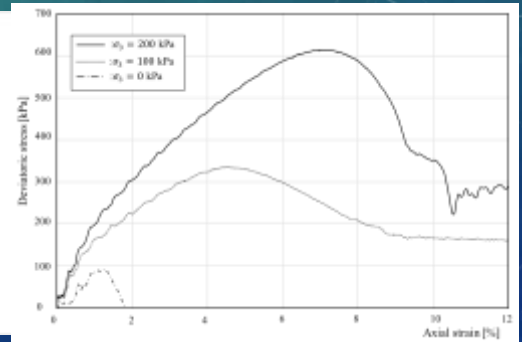
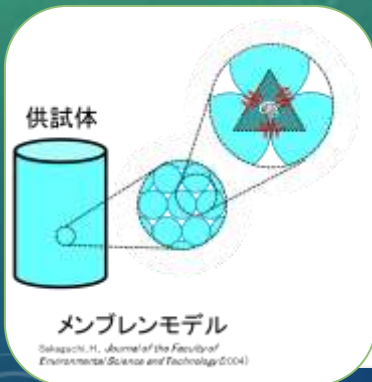
粘着モデル



## ➤ サンプル問題の拡充(2022年度～)

### 数値3軸圧縮実験: 地盤粒子などのキャリブレーションに使用

- メンブレンはDEM粒子をバネで連結してモデル化.
- 連結粒子で作られる三角形要素に封圧を掛け, 各粒子に封圧による力を加える.



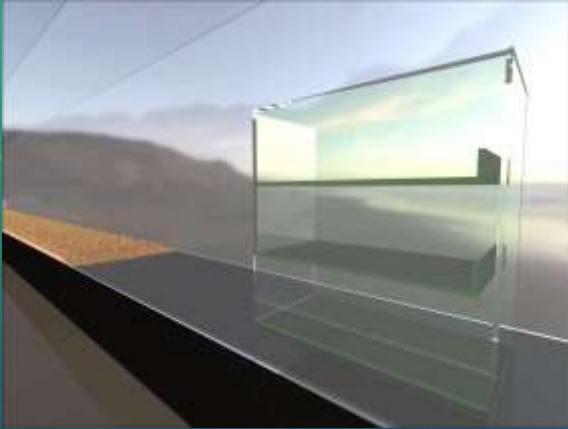
## ➤ 並列化機能拡張

- 現在は2次元だが、3次元的に大きく変化する粒子分布に対応するために、3次元改良型スライスグリッドを実装
- 各次元において振り分けられるノード数を、サブ領域形状が大きなアスペクト比を持たないように、動的に調整

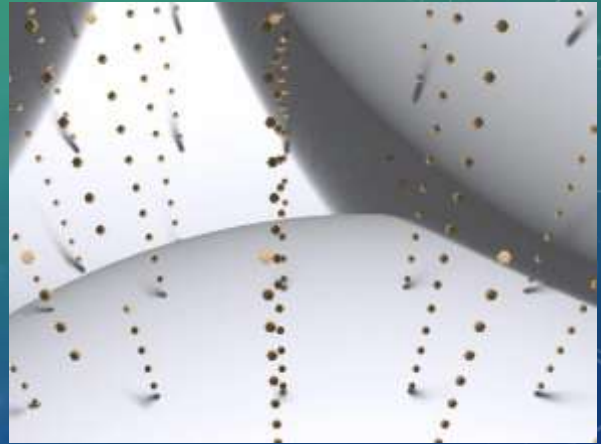


スランプフロー実験における並列化  
初期状態で重力方向に7段、崩壊後は重力方向に1段

## ➤ 固液混相流 (2023年度～)



DEM-SPH (粒子-粒子) カップリング



DEM-CFD (粒子-メッシュ) カップリング

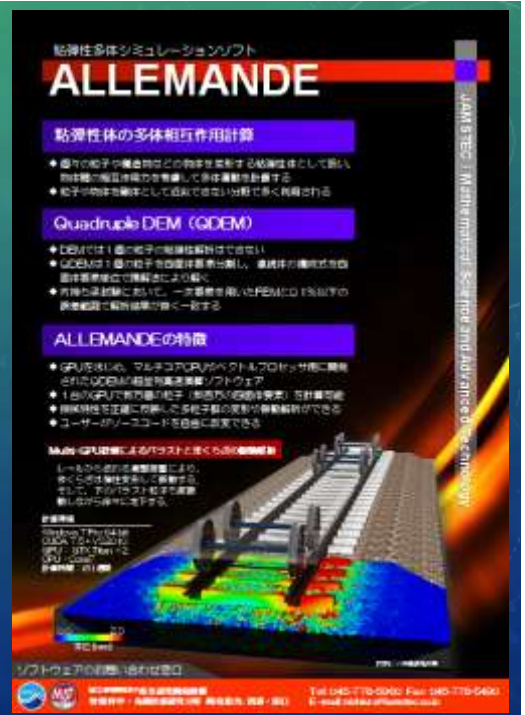
D. Nishiura et al., AIChE J., (2014)

## 今後のロードマップ

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
モデル拡張			粘着モデル		
サンプル拡充		製品化	3軸圧縮	→	
並列化拡張			3次元対応		
固液混相流				DEM-CFD	DEM-SPH

## 補足資料

- 非球形粒子への対応について
  - DEMでは回転摩擦項により非球形の寄与を模擬
  - 剛結ブロックに対応
  - 四面体の集合体を要素とするQDEMにより対応可能だが、粒子変形するからDEMとは違う
  - DEPTHにおけるQDEM搭載は現在予定なし → 別途JAMSTECで対応可
- 工程毎にシミュレーションする場合、力を引き継げるか
  - 可能です。
- 有限要素法とDEMによる破壊シミュレーションの比較
  - 概ね整合的な結果が出ます
  - 対象が粉体でないならFEMの方が無難
- 空気の扱いがあるか？
  - DEPTH ver.1にはありません。
- 金型内樹脂流動をこの手法で解析するメリット？
  - アドバンスソフトの方にご相談いただけましたら。



粘弾性多体シミュレーションソフト  
**ALLEMANDE**  
粘弾性体の多体相互作用計算

- 固りの粒子や集合体などの物体を粘弾性体として扱い、物体間の相互作用を考慮して多体運動を計算する
- 粒子の形状を球体として近似できない形状でもよく再現される

Quadruple DEM (QDEM)

- QDEMは1個の粒子の粘弾性解析は得意
- QDEMは1個の粒子を四面体要素化し、連続体の構成要素四面体要素集合で解析法により動く
- 片持ち梁試験において、一次要素を用いたFEM/DEMの誤差検証で解析結果が良く一致する

ALLEMANDEの特徴

- GPUを活用し、マルチコアCPU/グラフィックボードに最大限まで活用した高効率計算を実現したソフト
- 1個の粒子の形状を球体（形状不変の要素）に計算可能
- 接触検出に正確に計算した長方形の形状が自動検出ができる
- ユーザーがソースコードを自由に書き換え可能

Multi-IPU環境によるコストと速度の両立

シミュレーション結果の可視化

計算環境  
Windows 7/Ubuntu  
CPU: Intel Xeon E5-2680  
GPU: GTX 780 Ti  
メモリ: 32GB

ソフトウェアの問い合わせ窓口

アドバンスソフト株式会社 総務部  
〒250-0292 静岡県浜松市東区西町1-1-1  
Tel: 043-770-0402 Fax: 043-770-0403  
E-mail: info@advansoft.co.jp

## まとめ

- DEPTHが実装する大規模計算技術についての紹介
  - ソートに基づく参照表を用いた共有メモリ並列
  - 改良型スライスグリッドと反復法動的負荷分散による分散メモリ並列
- DEPTHの実績紹介
  - 実スケール数値砂箱実験(地球科学)
  - 粉体混合機器の最適化(粉体工学)
  - 地盤の遠心载荷シミュレーション(産業連携)
- 今後のロードマップの見通しについて紹介

# 価格および関連サービスのご紹介

JAMSTEC 発 最先端 DEM(離散要素法) 技術製品化 記念 技術セミナー

2022年3月18日 (金)  
アドバンスソフト株式会社  
営業部 畑原 亮太

Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

超並列計算機対応の粒子法シミュレーションソフト

## DEPTH-1.0

JAMSTEC / Center for Mathematical Science and Advanced Technology

**粒子法 (DEM・SPH)**

- ◆ 粒子間の相互作用力を考慮して多粒子群の運動を計算する
- ◆ 粉体工学・土木工学・化学工学・物理学などの分野で研究用・実務用アプリケーションとして利用される

**超並列計算**

- ◆ 多数のCPUを使用することで大規模高速計算を実現する
- ◆ 実用的な粒子シミュレーションを可能にする

**DEPTHの特徴**

- ◆ 動的負荷分散手法によるハイブリッド並列を実装した粒子法の超並列高速演算ソフトウェア
- ◆ CADデータから複雑な形状の境界条件を設定できる
- ◆ 流体 (SPH) と粒状体 (DEM) の混相流計算が可能
- ◆ MicroAVSとParaViewによる可視化に対応

大規模DEMによる粉体計算

CADデータを使った粉体の操作

セメントのスト

SPH-DEMによる混相流の計算

# 4月1日 リリース

国立研究開発法人理研研究開発機構  
数値科学・先端技術研究開発センター 開発担当: 古市・西浦

Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

## ◇サービス内容

### 【パッケージソフトウェア】

■ DEPTH200                    200万粒子まで利用可能。

Linux版   -   8 MPI並列以下 & OpenMP  
Windows版   -   OpenMP

■ DEPTH2000                    2000万粒子まで利用可能。

Linux版   -   256 MPI並列以下 & OpenMP

### 【受託解析】

■ 2000万粒子以上の大規模解析は受託解析案件として対応

Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

## 関連サービスのご紹介

Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

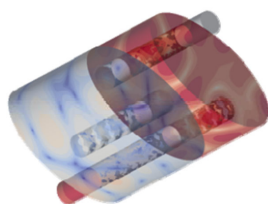
# 可視化ソフトウェア ParaView 利用サポートサービス

## ～ 商用可視化ソフトウェアの代替となるフリーソフトウェアの利用に関する 利用サポートサービスを提供します ～

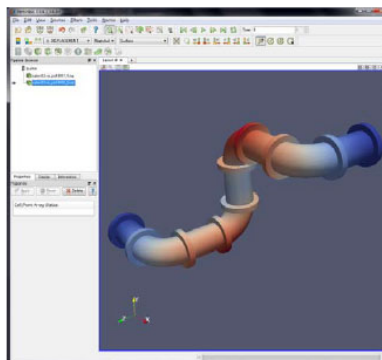
ParaView は、米国 Sandia 国立研究所等で開発された科学技術分野の可視化のためのフリーソフトウェアです。当社では、ParaView の利用に関する利用サポートサービスを実施しています。当サービスを利用することで、従来の商用可視化ソフトウェアの費用を大幅に削減できます。

### 当社の利用サポートサービス

- ① ParaView の使い方のコンサルティング、ユーザートレーニング
- ② ParaView へのファイルのコンバート、可視化スクリプト、データ処理スクリプトの作成
- ③ 当社ソフトウェアの計算結果に関する ParaView 利用方法の利用サポート



マフラーの流体音響連成解析



ParaView 操作画面

Copyright © 2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

## サービスメニュー

メニュー[1]	ParaView 利用サポートサービス
こんな方に	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ これまで高額な市販の可視化ソフトウェアを利用してきたが年間サポート等の価格が高く、なんとか費用を節約したいと考えられている方。</li> <li>✓ サポートがないためオープンソースソフトウェアの導入を躊躇されていた方。</li> <li>✓ すでに ParaView を利用している方で、より効果的に利用するためのアドバイスがほしい方。</li> </ul>
ご提供内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ドキュメントとサンプルデータの提供：流体・構造・音響解析用のスタートアップマニュアルの提供およびサンプルデータをご提供します。</li> <li>● 1年間の Q&amp;A サービス：CAE 分野での標準的な環境設定における ParaView 使用方法に関するメールによる Q&amp;A サービスを行います。</li> </ul>
メニュー[2]	ParaView トレーニングサービス
こんな方に	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ParaView を可視化に利用しようとしているが、習得するための時間が取れない状態で、その立ち上げの時間を節約したい方。</li> <li>✓ 合わせて、メニュー[1]のサービスを利用されることで効果が高まります。</li> <li>✓ 新人に ParaView による可視化業務を担当させたいが、新人を教育する時間のない方。かわりに当社が新人への教育を実施します。</li> </ul>
ご提供内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機能説明と実習：半日のコースで ParaView の利用方法を説明と実習を行います。人数は 1 社 3 名までの限定とし、1 つの計算機環境で実習を行います。</li> </ul>
メニュー[3]	ParaView カスタマイズサービス
こんな方に	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ParaView を定常的に利用しているが、日常的に利用しているいくつかの手順にはかなり複雑な操作が必要で、その手順をできるだけ自動化して時間を短縮したい方。</li> <li>✓ 現在利用しているソフトウェアとは別のソフトウェアにも可視化ファイルのフォーマットを合わせ ParaView を利用したい方。</li> <li>✓ 海外の市販の可視化ソフトウェアではカスタマイズのスピードが遅いと感じられている方。</li> </ul>
ご提供内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ParaView へのファイルのコンバート、可視化スクリプト、データ処理スクリプトの作成の受託開発を行います。</li> <li>● お問い合わせ → 打ち合わせ → 仕様作成 → 見積り → ご発注 → 納品 の順に進める通常の受託開発業務とします。</li> </ul>

Copyright © 2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

# AdvanceSoftについて

Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

## ◇各サービスのご紹介

### 1. パッケージソフトウェアの販売・サポート

アドバンスソフトが取り扱っているパッケージソフトウェアは、国家プロジェクトまたは自社により開発した日本の国産製品です。

ソースコードを熟知した開発者が直接お客様のご質問にお答えするため、迅速で的確なサポートサービスをご提供することが出来ます。また、お客様のご要望に沿ったカスタマイズを行うことも可能です。

### 2. ソフトウェアの受託開発サービス

お客様の解決すべき課題に則した、計算科学技術用のソフトウェアを新規に開発いたします。また、お客様が現在ご利用になっているソフトウェアへの機能追加および改良にも対応いたします。

### 3. 解析サービス

計算科学用ソフトウェアを用いた解析計算を行います。さらに、その結果をシミュレーションの専門家ならではの見識をもって評価しご報告いたします。各種分野の専門技術者が、「お客様の課題解決にはどのような手法が有効であるか。」といったご相談にも対応させていただきます。

### 4. コンサルティング

CAEに関わる様々な課題をお客様と一緒に解決すべく、専門研究者がコンサルティングサポートをさせていただきます。また、「フリーソフトを使ってみたがサポート体制が無いので不安がある。」といった声にお応えして、ParaView、LAMMPSといったフリーソフトのコンサルティングもいたします。

Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

# ◇アドバンスソフトのパッケージソフト

<p>第一原理計算ソフトウェア <b>Advance/PHASE</b></p> <p>ナノ材料 GUI 付属</p> <p>密度汎関数理論に基づき、物質の性質を原子・分子レベルから解析する第一原理計算ソフトウェアです。</p> 	<p>ナノ材料解析統合 GUI <b>Advance/NanoLabo</b></p> <p>ナノ材料 アプリボスト</p> <p>材料解析ソフトウェア QuantumESPRESSO と LAMMPS に対応した統合 GUI です。</p> 	<p>流体解析ソフトウェア <b>Advance/FrontFlow/red</b></p> <p>流体</p> <p>非圧縮性から圧縮性流れまで、広範囲で複雑な流れに対応した汎用 3 次元流体解析ソフトウェアです。</p> 	<p>圧縮性流体解析ソルバー <b>Advance/FOCUS-i</b></p> <p>流体</p> <p>非構造格子に対応した圧縮性流体解析ソルバーです。特に超音速や超音速の流れに適しており、高い並列化効率で計算出来ます。</p> 
<p>大規模 3 次元 TCAD システム <b>Advance/TCAD</b></p> <p>半導体デバイス GUI 付属</p> <p>超微細半導体デバイスからパワーデバイスまで、高度な機能と使いやすい GUI を備えた 3 次元 TCAD システムです。</p> 	<p>ニューラルネットワーク分子動力学システム <b>Advance/NeuralMD</b></p> <p>ナノ材料 AI-機械学習</p> <p>Neural Network Potential に基づいた分子動力学のソフトウェアです。第一原理計算の結果を教師データとして分子力場を作成します。</p> 	<p>気液二相流解析ソフトウェア <b>Advance/FrontFlow/MP</b></p> <p>流体</p> <p>沸騰と凝縮を伴う気液二相流の流動特性や伝熱特性を 3 次元で解析するソフトウェアです。</p> 	<p>管路系流体過渡解析ソフトウェア <b>Advance/FrontNet</b></p> <p>流体 GUI 付属</p> <p>配管や流体機器から成る管路系内流体に対する 1 次元過渡解析の実用的なソフトウェアです。</p> 
<p>大規模電磁波解析ソフトウェア <b>Advance/ParallelWave</b></p> <p>光波・電磁波</p> <p>マクスウェル方程式を FDTD 法で 3 次元的に解く電磁波解析ソフトウェアです。アンテナの電波解析から光の干渉や回折を考慮した光波解析まで幅広く適用できます。</p> 	<p>構造解析ソフトウェア <b>Advance/FrontSTR</b></p> <p>構造</p> <p>固体の変形や熱伝導を、有限要素法を用いた 3 次元で解析するソフトウェアです。</p> 	<p>大気拡散影響予測システム <b>Advance/Emerg</b></p> <p>流体 GUI 付属</p> <p>大気拡散物質の挙動予測と影響評価のためのソフトウェアシステムです。</p> 	<p>深層学習ツール <b>Advance/iMacLe</b></p> <p>AI-機械学習</p> <p>機械学習のうち、ニューラルネットワークによる深層学習に特化、最小限度の機能に絞り込んだ比較的軽いツールです。</p> 
<p>汎用アプリボストプロセス <b>Advance/REVOCAP</b></p> <p>アプリボスト</p> <p>解析の一連の流れをスムーズに行う事を実現した汎用アプリボストプロセスです。</p> 	<p>音響解析ソフトウェア <b>Advance/FrontNoise</b></p> <p>音響</p> <p>環境騒音、機器内の共振等における音場を有限要素法を用いた 3 次元で解析するソフトウェアです。</p> 	<p>自社による開発（国プロ含む） 開発チームによる質の高いサポートサービス カスタマイズや機能追加も応相談 並列数無制限（追加料金なし）</p> 	

Copyright © 2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

# ◇ソフトウェアの解析事例

解析事例Webページをご覧ください。

アドバンスソフト 事例集

検索

<http://case.advancesoft.jp>

- ソフトウェア名からだけでなく、産業分野別、解析分野別の検索が可能となりました。
- 最新の事例を掲載しました。今後も逐次最新事例を紹介します。

産業分野別	解析分野別
自動車・運輸	流体
材料・化学	爆発・燃焼
産業機械	構造
航空宇宙	振動音響
エレクトロニクス	ナノ・バイオ
建設土木	アプリボスト
原子力	半導体デバイス
エネルギー	光・電磁波
環境・防災	

Copyright © 2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.



**警告**

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立つ用途に限定して無料配布しています。このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要になります。このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。