

日本設計工学会創立60周年記念設計フォーラム「CADとCAD周辺技術の60年とこれから」

2026.5.23 明治大学駿河台キャンパス

CAEとその周辺技術の発展を振り返る

2026. 5.23

株式会社 くいんと 石井 恵三

Keizo ISHII, Ph.D., Founder and Chairman of the board, Quint Corporation, JAPAN

Quint

Quint Corporation since 1985

目 次

| | |
|-------------------------------------|-------|
| 1. 会社紹介 | P. 3 |
| 2. CAEの概念と「CAEということば」の誕生 | P. 4 |
| 3. CAEの基幹となる技術:有限要素法と構造最適化 | P. 5 |
| 4. CAD : Computer Aided Design | P. 6 |
| 5. CAE に不可欠なコンピュータの発展(抜粋) | P. 7 |
| 6. CAE の発展に多大な貢献をした汎用構造解析ソフトウェア(抜粋) | P. 8 |
| 7. CAD と CAE の融合 | P. 9 |
| 8. CAE の重要構成要素である構造最適化の最初の目的は軽量化 | P. 11 |
| ① 連続体のトポロジー最適化 | P. 12 |
| ② H1勾配法によるノンパラメトリック形状最適化 | P. 13 |
| ③ 構造最適化により有益な結果を得られると新たな2つの要求が生まれた | P. 14 |
| 9. 自動メッシュ生成の別アプローチ:Image Based CAE | P. 17 |
| 10. まとめ | P. 18 |

1. 会社概要

1) 社名 株式会社くいんと

2) ビジネスモデル

大学のユニークな研究を基に、**‘ホリワンのCAEソフトウェア’**を開発し、
我国製造業の製品開発に貢献する。

3) 設立 1985年3月22日

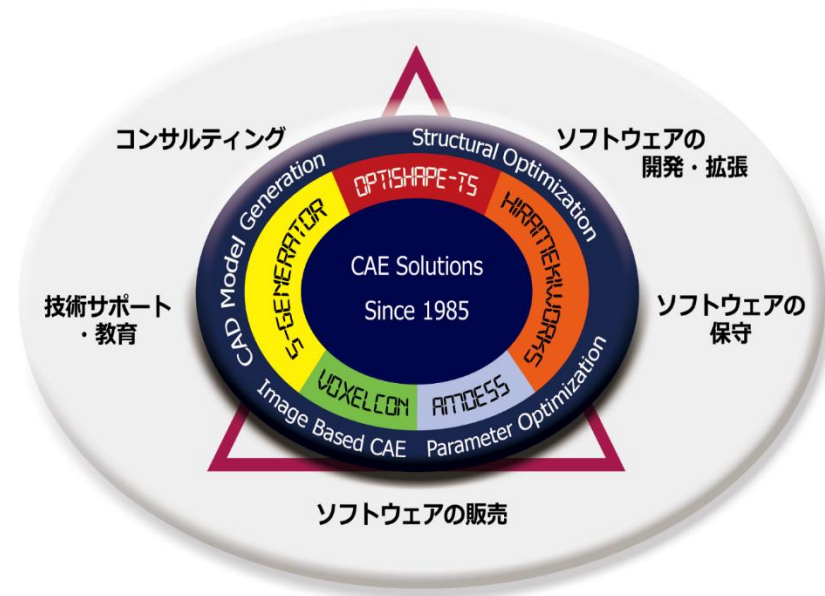
4) 代表者 代表取締役 石井恵三（創業者）

5) 業務内容

ユニークなCAEソフトウェアの**自社開発**、販売、コンサルティング

< 主な製品 >

- | | |
|------------------------------|-----------------|
| ① 構造最適設計ソフトウェア | : OPTISHAPE-TS |
| ② イメージベース構造解析ソフトウェア | : VOXELCON |
| ③ パラメータ最適化支援ソフトウェア | : AMDESS |
| ④ CADモデル生成ソフトウェア | : S-Generator |
| ⑤ SOLIDWORKSアドイン構造最適設計ソフトウェア | : HiramekiWorks |



くいんとはラン語で‘5’

- ・ 5つの業務形態
- ・ 5つのソフトウェア

2. CAEの概念と「CAEということば」の誕生

CAE : Computer Aided Engineering という壮大な「概念」と「ことば」は、1980年に当時 SDRC の創業者兼会長だった Dr. J. R. Lemon らによって提唱された。



Dr. Jason R. Lemon
Founder and Chairman
of SDRC

Lemon, J.R., Tolani, S.K. and Klosterman, A.L.
Integration and Implementation of Computer Aided Engineering and
Related Manufacturing Capabilities into Mechanical Product
Development Process., CAD-Fachgespräch, vol.34 (1980), pp.161-183.

「新しいCAEアプローチは、設計、解析、試験、製図、文書作成、プロジェクト管理、データ管理、プロセス計画、ツール設計、数値制御、品質保証など、製品開発プロセス全体のさまざまなエンジニアリング機能を統合し、自動化しようとするものである。」

・従来の「設計⇒試作⇒試験⇒修正」という設計サイクルを、早い段階でコンピュータ上に実形状を模擬した仮想数学モデルを作りあげ、コンピュータ・シミュレーションによる性能評価を行う。

・激化する競争に勝つために、製品の挙動を事前に予測するための手段として、従来の Trial and Error の繰り返しではなく、デジタル空間での仮想モデルの検証によって、開発期間の短縮と低コスト化を実現する戦略的な工学手法としてCAEを定義した。

3. CAEの基幹となる技術：有限要素法と構造最適化

「有限要素法: Finite Element Method」ということばと、近代「構造最適化: Structural Optimization」の技術は奇しくも同じ会議から・・・

- **Clough, R.W., The finite element method in plane stress analysis.**
2nd Conf. on Elec. Comput., ASCE (1960)
- **Lucien A. Schmit, Jr., Structural Design by Systematic Synthesis.**
2nd Conf. on Elec. Comput., ASCE (1960)



Prof. R. W. Clough



Prof. L. A. Schmit

← 故山田嘉昭先生撮影 →

Quint

Quint Corporation since 1985

4. CAD : Computer Aided Design

Sketch Pad : Ivan E. Sutherland, 1963 MIT

CADの先駆的論文(MITの博士論文)と言われ、

- ・GUI(Graphical User Interface)
- ・Object Oriented Programming

等の斬新なアイデアで、Man-Machine Interfaceの形態を提示した。

(MIT独自のTX-2コンピュータにベクタースキャン型のディスプレイとライトペン)

1963年と言えば、IBM社のSystem360という画期的な汎用コンピュータが発表された年。

1 byte = 8 bits、4 bytes (= 32 bits) = 1 single word(短精度)

8 bytes (= 64 bits) = 1 double word(倍精度)

これまでの、科学技術計算用、事務処理用に分かれていたアーキテクチャを統合した、当時の先進的なコンピュータで、日本では「汎用コンピュータ」という呼び名が定着した。

これにより、当時のライバルメーカー: **BUNCH***(合計5社)は徐々に衰退した。

BUNCH : Burroughs, UNIVAC, NCR, CDC, Honeywell 当時のIBMを除いたメインフレーム・コンピュータメーカー5社の総称

5. CAEに不可欠なコンピュータの発展(抜粋)

| | | |
|---------------|------|--|
| ENIAC | 1946 | モークリ、エッカート(ペンシルバニア大) 真空管(18,800本) 弾道計算 |
| UNIVAC1 | 1950 | ノイマン型(Stored Program方式)最初の商用機 |
| IBM S360 | 1964 | 初めての汎用コンピュータ(トランジスタ) |
| PDP-8 | 1965 | DECのミニコンピュータ |
| IBM S370 | 1970 | S360の拡張(LSI) |
| i-8008 | 1973 | Intel社のマイクロプロセッサ(8bits) |
| Cray-1 | 1976 | ベクトルプロセッサをもつ初めてのスーパーコンピュータ |
| VAX-11/780 | 1978 | DECのスーパーミニコンピュータ(1MIPS) |
| Apollo Domain | 1981 | Engineering Workstation AEGISというネットワークOS |
| The IBM-PC | 1981 | i-8088(16bits) アーキテクチャを公開 MS-DOS(PC-DOS)⇒互換機ビジネス |
| Sun | 1982 | Sun Micro Systems MC68000 BSD Unix |
| NEC PC9801 | 1982 | 16 bits MS-DOS |
| Macintosh | 1983 | Apple Computer(Mac OS) |
| (Windows95) | 1995 | マイクロソフトから出たGUIを基本としたPCのOperating System |
| | ～ | 並列 ⇒ 超並列 |

6. CAE に多大な貢献をした汎用構造解析ソフトウェア(抜粋)

| | | |
|-------------|------|---|
| NASTRAN | 1969 | 1964年から NASA で開発が始まり1969年に COSMIC から公開 |
| ASKA | 1969 | Stuttgart 大学 ISD Prof. John Argyris のグループ |
| MSC/NASTRAN | 1971 | NASTRAN 開発の主要なリーダーだったDr. R. MacNeal が MSC を設立 |
| ANSYS | 1971 | Dr. J. Swanson が SASI を設立 ANSYSを発表 |
| MARC | 1973 | Brown 大学 Prof. P. Marcal が MARC を設立 |
| ABAQUS | 1978 | MARC を去った Dr. D. Hibbitt が HKS を設立 |
| LS-DYNA | 1987 | LLNL の研究員だったDYNA3Dの開発者Dr. J. Hallquist が LSTC を設立 |
| <日本> | | |
| PASSAGE | 1972 | 日本船級協会 船舶の自動設計 |
| FINAS | 1980 | 高速増殖炉開発において想定される高温条件下で起こる種々の非線形挙動を解析するために開発された |
| ADVENTURE | 2002 | 東大を中心に研究開発された大規模並列マルチフィジックス解析システム |
| OPTISHAPE | 1989 | 世界で最初の連続体のトポロジー最適化ソフトウェア |
| 別格 | | |
| JMAG | 1983 | 世界中で使われている日本を代表する電磁場解析ソフトウェア |

Quint

Quint Corporation since 1985

7. CADとCAEの融合

構造物の形状を正確に表現する CAD モデル。一方構造物のどの部分に高い(危険な)応力が発生するのか、共振を避けるために知りたい固有振動数、等々を解析するための FEM モデルとの間には埋め尽くせない乖離があり、CAD/CAE はお互いを意識しながらも別々に発展して来た。

その大きな理由は、FEM の基本となる空間の離散化に用いるメッシュ(要素)分割の自動化の開発がなかなか進まなかったことにある。

当時、世界中で3次元空間の任意形状を有限要素で自動で埋め尽くす研究が成された。その中で、フランスの国立研究所 INRIA の P. L. George のグループの研究

Automatic Mesh Generation: Application to Finite Element Methods,
Paul-Louis George , Wiley (1991)

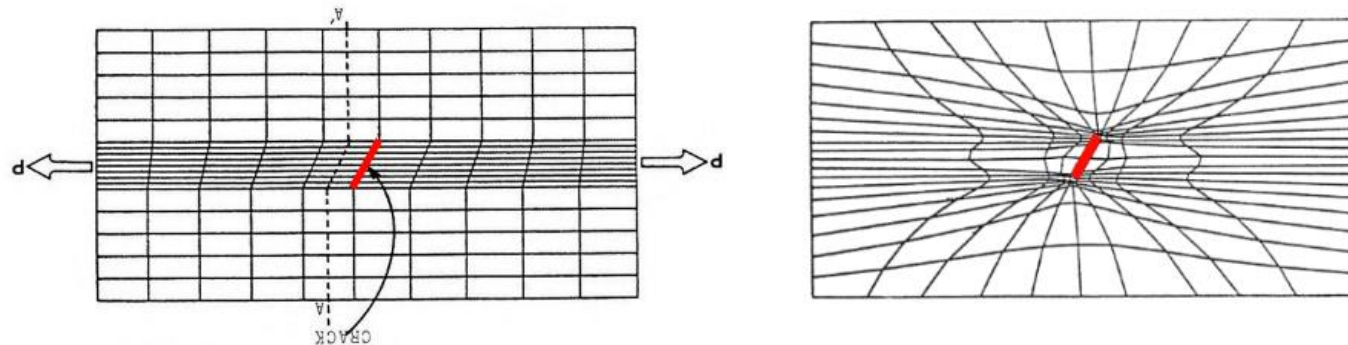
は、複雑な曲面境界から内へ Tetra 要素で埋め尽くす Delaunay 分割の安定的適用のための工夫を示し、その後様々な CAE ソフトウェアに応用され、長かった CAD と CAE の分離に終止符を打った。

メッシュが出来たら解の精度向上: Adaptive Mesh Refinement

自動メッシュ生成が出来るようになると、次の課題は算出する解の精度を如何に高めるかが話題になった。

有限要素法の解は要素分割で変わる！

1985年当時、シカン大学菊池昇教授のグループ、メーランド大学 Babuska 教授のグループ、ワシントン大学 Szabo 教授のグループ、ウェールズ大学 Zienkiewicz 教授のグループ等多くの大学、研究機関が Adaptive Mesh Refinement の研究に取り組んだ。手法としては、r法、h法、p法が提案された。



アダプティブ有限要素法による中央に亀裂を有する平板の応力解析

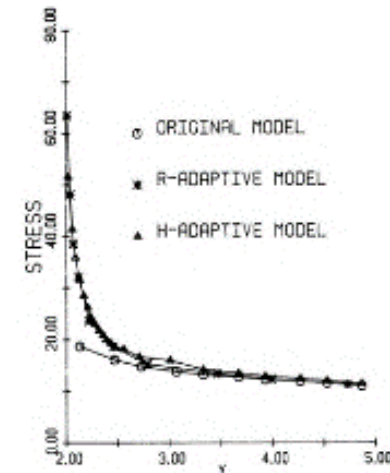
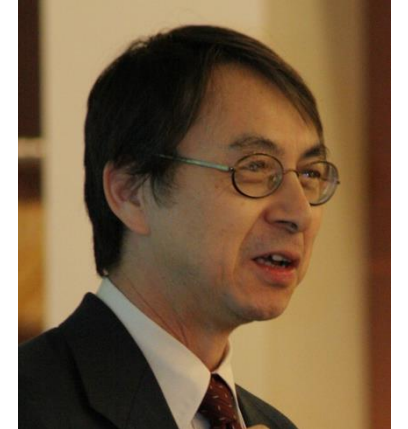


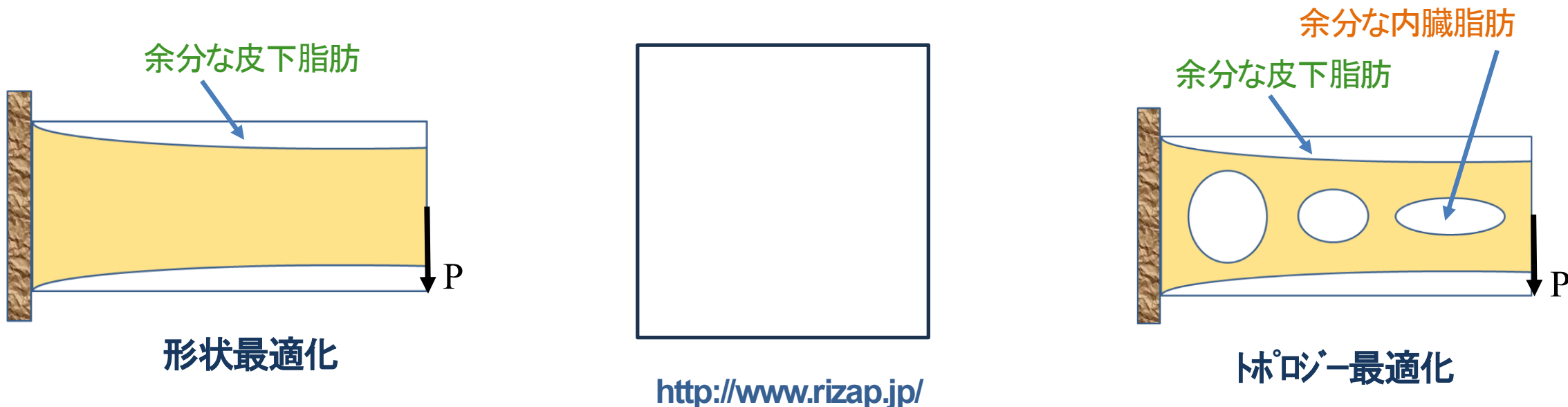
図 1. 1(a) ひび割れ附近での応力状態
σ_{xx}



8. CAEの重要構成要素である構造最適化の最初の目的は軽量化

構造最適化はダイエットと同じで、機能や性能を落とさずに余分な肉(贅肉)を取り除くことが目的

- ・ 身体(構造物)表面の皮下脂肪(余分な肉)を減らすのが **形状最適化** (左図)
- ・ 皮下脂肪に加えて、内臓脂肪(内部の余分な肉)まで取り除くのが **トポロジー最適化** (右図)



① 連続体のトポロジー最適化

Bendsoe, M.P. and Kikuchi, N.

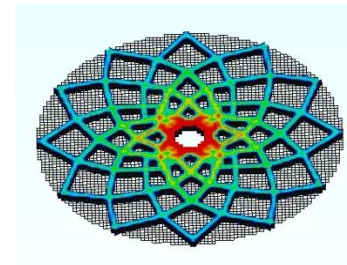
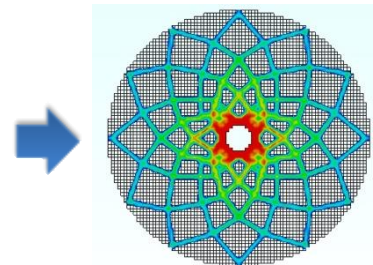
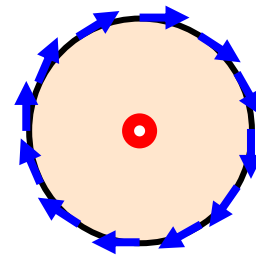
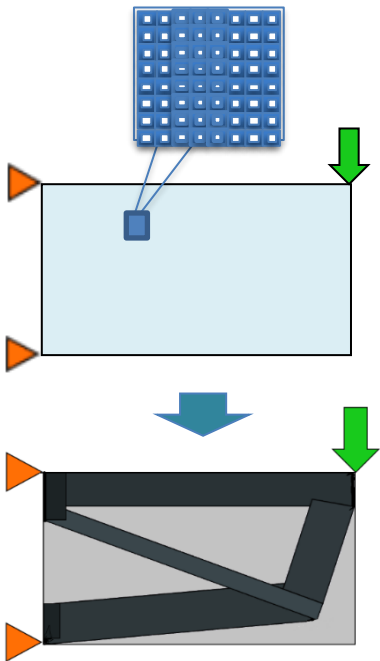
Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 71 (1988) 197-224.

Suzuki, K. and Kikuchi, N.

Shape and topology optimization using the homogenization method, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 93 (1991) 291-318.

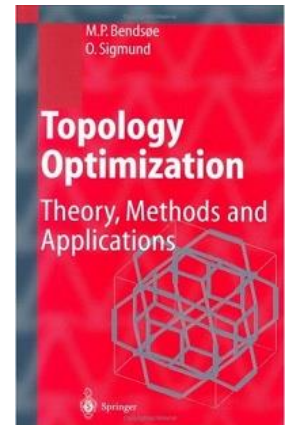
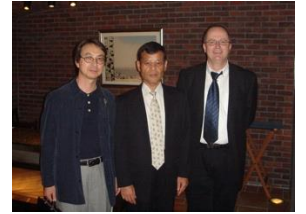
Topology Optimization, Theory, Methods & Applications,
M. P. Bendsoe and O. Sigmund, Springer.

In 1989 a company in Japan, Quint Corporation released OPTISHAPE, a commercial software to perform topology optimization using the approach of Bendsoe and Kikuchi.



Quint

Quint Corporation since 1985

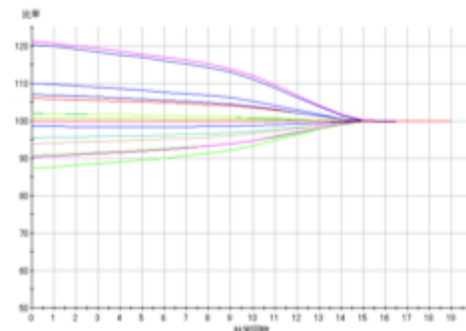
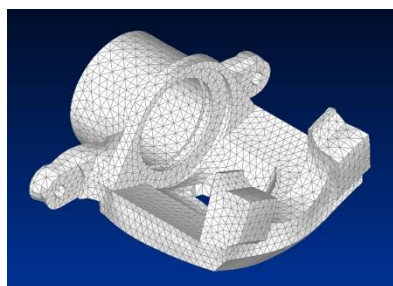
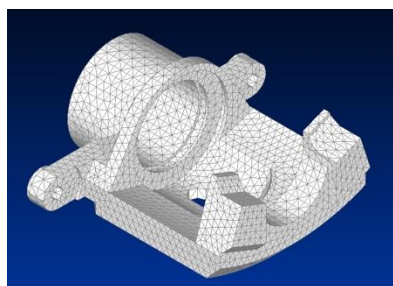


② H1勾配法(ヒルベルト空間の勾配法)によるソパラメトリック形状最適化

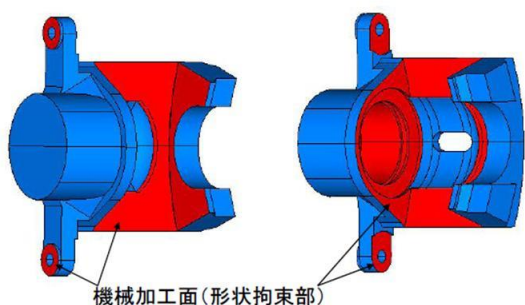


畔上 秀幸 形状最適化問題(605ページ) 森北出版

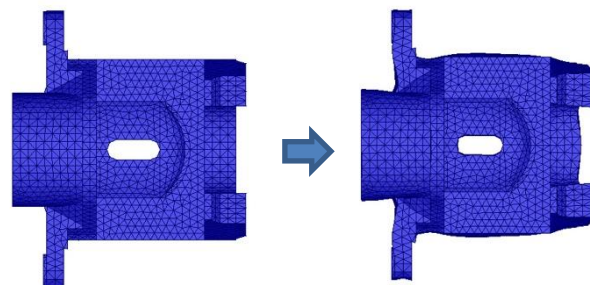
例) 最適化問題 : $Min. \sum_{i=7}^{20} (f_i^{EXP} - f_i^{FEM})^2, \quad s.t. \quad V = V_0$



| Mode Number | Natural Frequency (Hz) | |
|-------------|------------------------|--------------|
| | Experiment | FEM Analysis |
| 7 | 2,600 | 2,476 |
| 8 | 2,700 | 2,638 |
| 9 | 4,800 | 5,034 |
| 10 | 5,000 | 5,506 |
| 11 | 6,000 | 6,025 |
| 12 | 6,500 | 7,134 |
| 13 | 7,000 | 7,208 |
| 14 | 8,070 | 7,753 |
| 15 | 8,500 | 7,947 |
| 16 | 9,000 | 9,088 |
| 17 | 10,000 | 9,927 |
| 18 | 10,500 | 9,982 |
| 19 | 11,000 | 11,112 |
| 20 | 11,500 | 11,897 |



機械加工面(形状拘束部)



15回の繰返しで、誤差0.1%以内の精度で各固有振動数及び体積共に制約値と一致する結果が得られた。

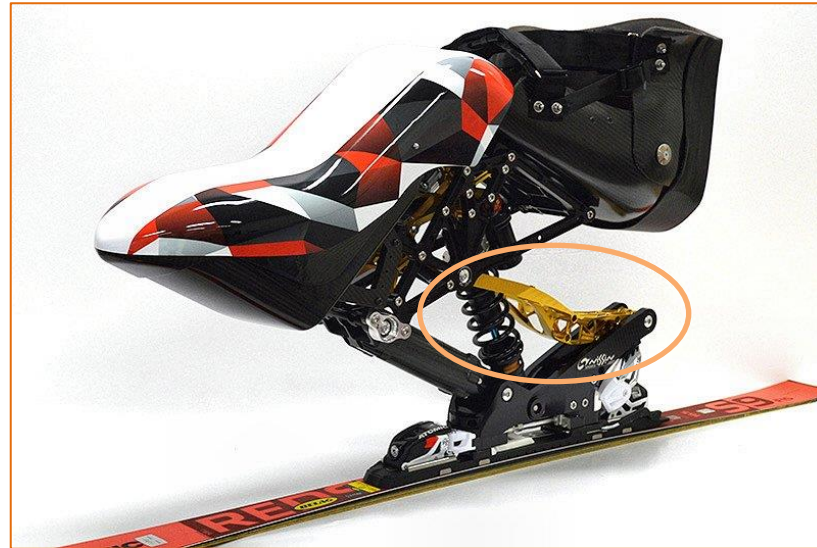
Quint

Quint Corporation since 1985

③ 構造最適化で有益な結果を得られると新たな2つの要求が生まれた

前述したトポロジー最適化、形状最適化が様々な構造部品に適用され、有益な結果が得られるようになると、次の新たな課題が浮上した。

- ① トポロジー最適化の結果は作れない。いくら軽くなっても作れなければ意味はないね！
- ② トポロジー最適化の結果を何故CADモデルに出来ないの？



トヨタ自動車様が開発した北京オリンピック
向けのチェアスキー

村岡桃佳選手が金メダルを獲得

<https://newswitch.jp/p/31101>

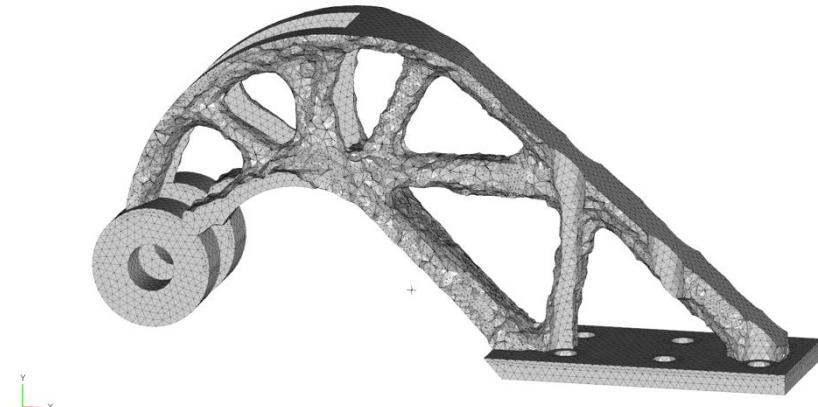
①に対する回答: 前述した技術と3Dプリンターを組み合わせると・・・

既に述べたように、「トポロジー最適化」および「形状最適化」を製品に適用することで、大きな性能向上が期待できる。そこに近年製造法にイノベーションを起こした金属3Dプリンターが加わり、これまでにない斬新な構造物が世の中に出現している。

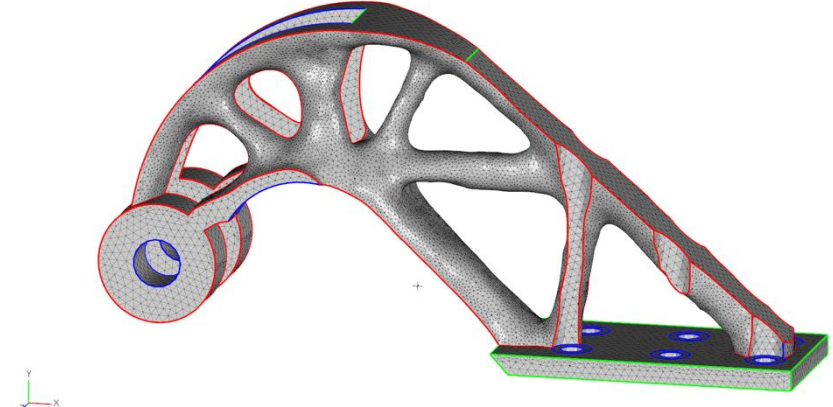
トポロジー最適化技術、形状最適化技術を駆使して究極の構造形状をデザインし、それを3Dプリンターで製造した例がNHK Eテレの「サイエンス ZERO」で紹介された。(2013/4/14 23:30~23:59)



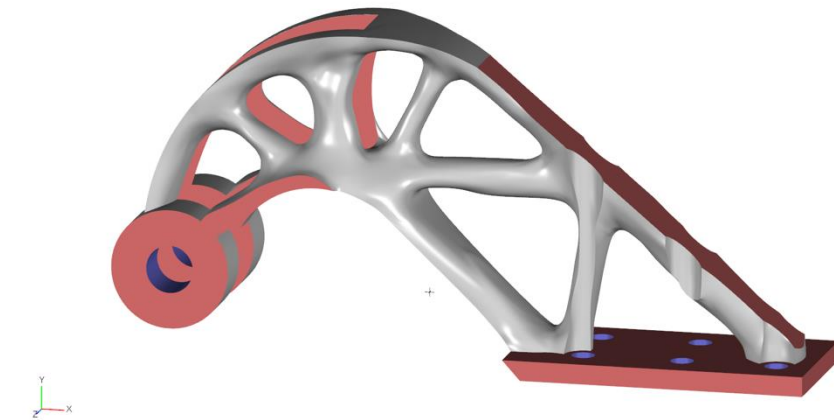
② に対する回答: 構造最適化の結果 (FEMデータ) をCADへ



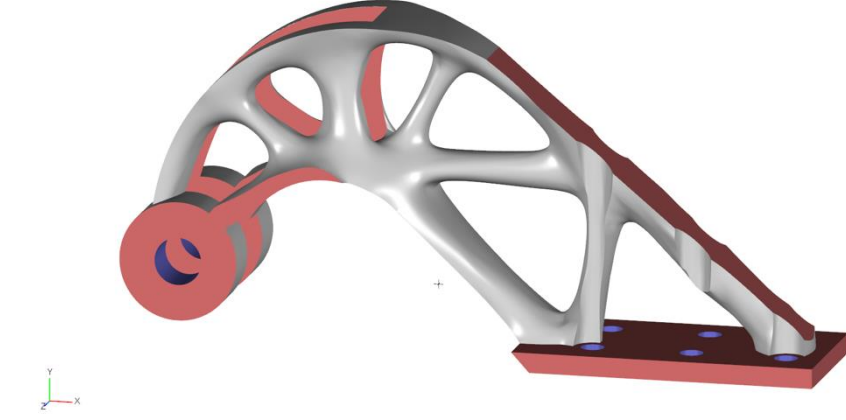
① 構造最適化結果形状 (FEMモデル)



② 滑らかなSTLを生成



③ 曲面データ (NURBS+解析曲面)



④ 曲面データ (さらに滑らかなNURBS曲面+解析曲面)

Quint

Quint Corporation since 1985

9. 自動メッシュ生成の全く別のアプローチ: Image Based CAE



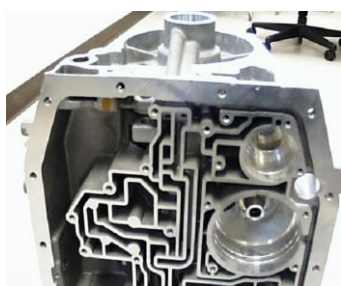
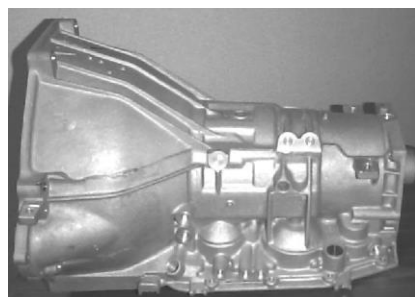
イメージベースCAEを提唱したシガン大学
菊池昇教授とスコット・ホリスター教授(1993)

モチベーション: 目の前に存在する現物を、とにかくデジタルデータとして取り込みたい。

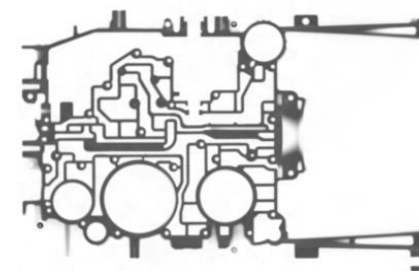
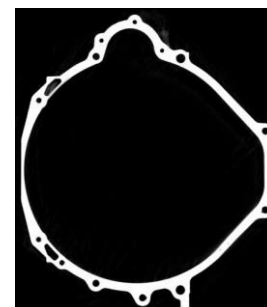
方法1 ・産業用CTスキャナを利用して現物を撮像し、断面の画像を取り込む。
・取り込んだ画像を層ごとに重ねて3Dボクセルモデルを生成する。

方法2 ・3次元形状計測装置で点群を取り込み、閉じたSTLモデルとして出力をする。
・閉じたSTLモデル(水漏れのない)からボクセルモデルを生成する。

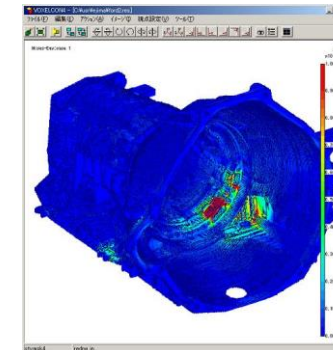
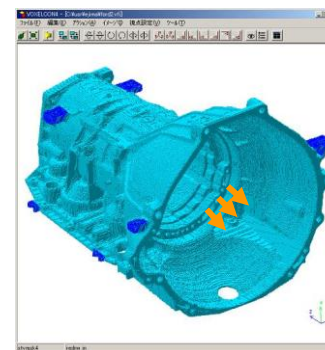
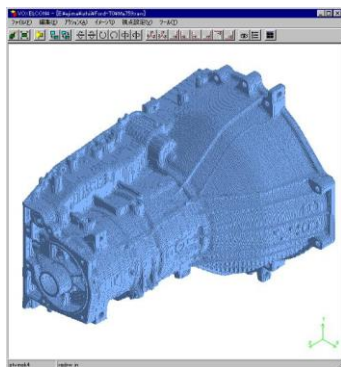
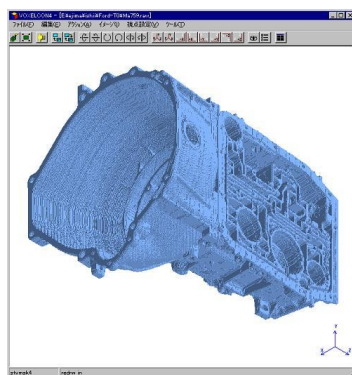
生成したボクセルモデルに、材料、境界条件(拘束、荷重)を設定し、応力解析を実行する。



CTスキャナによる撮像



GPGPUによる加速、
有限被覆法(FCM)あり



Quint

Quint Corporation since 1985

10. まとめ

CAEの歴史のほんの一部に触れた。近年CAEは、CAD、CAE/CAT、CAMを分離して考えるのではなく、それらを製品DBに統合し、PLMを含んだ総合デザインシステムに進化した。

一方で、設計の初期段階におおまかなデザインの枠を決めるためにMBD(Model Based Development)の考えも復活し大幅に進化した。

コンピュータ支援設計／工学全体は、ここ数年飛躍的に発展した生成AIを取り込み、より便利で有用なものに進化中だ。

果たして、日本設計工学会の70周年、80周年、100周年では、どのような進化を遂げているか、興味は尽きない。

ただ、こうした目覚ましい進化も、歴史を辿れば場面場面で素晴らしいブレイクスルーがあって次に繋がっている。

将来に良い技術を残すためにも、我々は日々努力を怠ってはならない。

最後になりましたが、日本設計工学会創立60周年 誠におめでとうございます。