

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「デジタルプロセスによる高機能部品製作技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社アールテック

目 次

第1章 研究開発の概要.....	3
1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1 - 2 研究体制	4
1 - 3 成果概要	5
1 - 4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論.....	7
2 - 1 3次元モデリングの技術開発.....	7
2 - 2 耐熱性・耐油性部品の技術開発	10
2 - 3 樹脂含浸による RP 造形多様化の技術開発	14
2 - 4 医療用ファントム製作の技術開発	16

第1章 研究開発の概要

1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

・研究開発の背景

自動車部品においては、「軽量化によるエンジンの燃費向上といった環境への配慮」という観点は不可欠であり、自動車1台当たり総重量の約1割がプラスチック部品で構成されている。加えて最近では、プラスチック材料の耐熱性、剛性の飛躍的な向上により、従来は金属部品で構成されていた高温、高湿、高強度への対応が必要なエンジンルーム内にも、プラスチック部品も採用されるようになってきている。

今後の自動車におけるプラスチック成形加工技術に対する技術的課題は、「環境」、「安全・快適」、「軽量化」、「品質」、「価格」を中心に展開されていくと考えられる。

自動車産業では、従来から CAD/CAM を利用したコンカレント・エンジニアリングによって、さまざまな課題をクリアする試みが行われ、着実にその成果を挙げている。一方で、自動車エンジンの主要部品である吸排気ポート部品やケース部品などは、高温下で耐油性を求められ、設計仕様の決定において試行錯誤が繰り返される。このため、試作期間を大幅に短縮して、設計変更を実機にて検証しながら、設計品質を向上させるとともに、製造工程上の問題点を早期に発見して、製造品質の安定化にも繋げたいとの要望が強い。

一方、医療機器は人の生命を守る重要な領域を支えていることから、プラスチック成形品についても高い安全性、清浄度が要求される。加えて、医薬品と医療機器を組み合わせた技術が進む一方で医師不足および医療事故への対策が求められる中、一層の高精細化、高機能化が求められている。

こうしたことを踏まえ、医療機器におけるプラスチック成形加工技術に対する技術的課題は、「安全性(含む清浄度)」、「高精細化」、「高機能化」、「品質保証システムの整備」と考えられる。

医療機器分野では、撮影装置の多機能・高性能化が進められており、例えば、X線CT装置では走査ビーム列が128列や256列で撮影領域の拡大と高速撮影が可能となり、核磁気共鳴(MRI)装置では磁束密度が1.5Tや3Tで解像度の向上と高速撮影が実現されている。その一方で、撮影画像の精度保証や信頼性の確保が求められているが、従来の計測基準である被写体模型(ファントム)では対応しきれないため、人体の構造や特性に近いファントムの開発が求められている。

・研究目的及び目標

本研究開発の目的は、まず第1に、自動車エンジンの主要部品である吸排気ポート部品やケース部品などの試作期間を大幅に短縮して、設計変更を実機にて検証しながら、設計品質の向上と製造品質の安定化に繋げることである。このために吸排気ポート部品やケース部品などの耐熱性と耐油性のある成形加工試作品の製作技術を開発する。第2

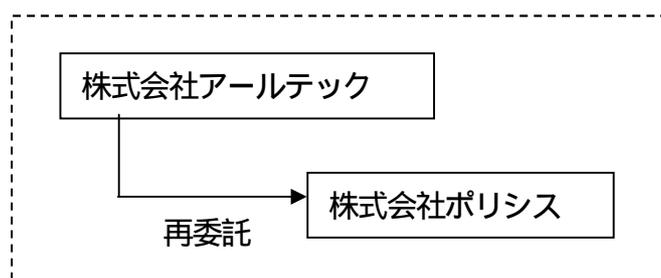
に、医療機器分野での撮影装置の多機能・高性能化に対応した撮影画像の精度保証や信頼性の確保を実現することである。このために従来の計測基準である被写体模型(ファントム)とは異なる人体の構造や特性に近いファントムを開発する。

本研究開発では、これらのニーズを 3 次元デジタルデータにもとづく RP 造形を適用したプラスチック成形加工技術で実現する。

研究の目標として、自動車部品向け技術開発において 3 次元モデリング技術を確立するとともに、約 1,000 の高温下での耐熱強度と耐油性をもつ部品製作を可能にする。さらに、医療機器向け技術開発において解像度や被写体の再現度あるいは出力信号強度の信頼性をもつ人体の骨格、血管および実質などの構造を再現するファントムの製作を可能にする。

1 - 2 研究体制

・研究組織（全体）



総括研究代表者（PL）
株式会社アールテック

副総括研究代表者（SL）
株式会社ポリシス

1 - 3 成果概要

1 . 3次元モデリングの技術開発

出力データにもとづく画像情報を編集するとともに、形状モデリングのための生成条件を自動的に付加し、画像データにおける関心領域の特定に必要な画像認識と領域判定ならびに3次元形状モデリング、RP造形システムへの受け渡しデータ生成の機能開発を行った。

また、CAD、3次元スキャナ計測モデルおよび医療撮影画像にもとづく3次元モデルのRP造形製作のためのシステムを構築するために、各工程でのシステム構成機器の選定、システム間接続仕様の確定、最終出力製品の評価などもとりまとめた。

さらに、3次元スキャナ計測にもとづくモデリング技術を進めるために、これまで実施してきたシステムを進化させた形で、新たな機能を付加したモデリングシステムおよび3次元スキャナシステムの活用も図った。

今後の3次元モデリングでの展開に役立つ技術開発ができた。

2 . 耐熱性・耐油性部品の技術開発

これまでに蓄積されたRP造形技術を活用するとともに、鋳造や陶器製作での手法や材料の開発を行い、RP造形品の熱処理加工法を確立した。

すでに現行のRP装置の活用をはじめ、新たな機能を付加したRP造形機の導入などを、これまでの経験や知識にもとづき、研究開発を進めた。

その結果、1,000以上の耐熱性を持ち、強度を確保できるRP造形品の製作に成功し、今後の自動車部品を中心とした部品製作の展開が可能になった。

3 . 樹脂含浸によるRP造形多様化の技術開発

RP造形品に対する前処理および含浸剤による軟化処理を行うために、一液性ウレタン樹脂をベースとした材料を開発した。また、含浸された樹脂により新たな結合を発生させることにより、柔軟で強靱な特性をもつRP造形品に変化させる手法も開発した。

これは、3次元モデルのRP造形製作において樹脂材料を含浸することによって、材料の物性を変更する手法であり、この適用によって、従来の単一的な製品が、同じ製法により、さまざまな剛性や強度を持つ製品に生まれ変わることになる。

さらに、表面処理のコーティング処理により、デザイン製品の見栄えが大きく変わってくる。このコーティング処理手法に関する技術も開発できた。

4 . 医療用ファントム製作の技術開発

RP材料の選定や注型材料の評価を行い、人体の構造を反映した異質材料で構成された複雑形状モデルの製作技術を確立した。

医療撮影画像にもとづく3次元モデルのRP造形品を利用して、医療画像撮影装置向けのファントムを製作のための技術を開発した。

このシステムを構築するために、各工程での製作手法の選定、工程間での仕様の確定、最終出力製品の評価などをとりまとめた。

また、医療撮影画像にもとづく3次元モデリング技術を進めるために、これまで

実施してきたシステムを進化させた形で、新たな機能を付加したシステムの構築も検討し、今後のファントムの活用領域を大幅に拡大できる技術開発ができた。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

【対外的な問い合わせ担当者】

株式会社アールテック

代表取締役 小杉 隆司

電話 053 - 428 - 6686

FAX 053 - 484 - 1498

E-Mail info@r-tech.co.jp

第2章 本論

2 - 1 3次元モデリングの技術開発

出力データにもとづく画像情報を編集するとともに、形状モデリングのための生成条件を自動的に付加し、画像データにおける関心領域の特定に必要な画像認識と領域判定ならびに3次元形状モデリング、RP造形システムへの受け渡しデータ生成の機能開発を行った。

また、CAD、3次元スキャナ計測モデルおよび医療撮影画像にもとづく3次元モデルのRP造形製作のためのシステムを構築するために、各工程でのシステム構成機器の選定、システム間接続仕様の確定、最終出力製品の評価などとりまとめた。

さらに、3次元スキャナ計測にもとづくモデリング技術を進めるために、これまで実施してきたシステムを進化させた形で、新たな機能を付加したモデリングシステムおよび3次元スキャナシステムの活用も図った。

実施内容

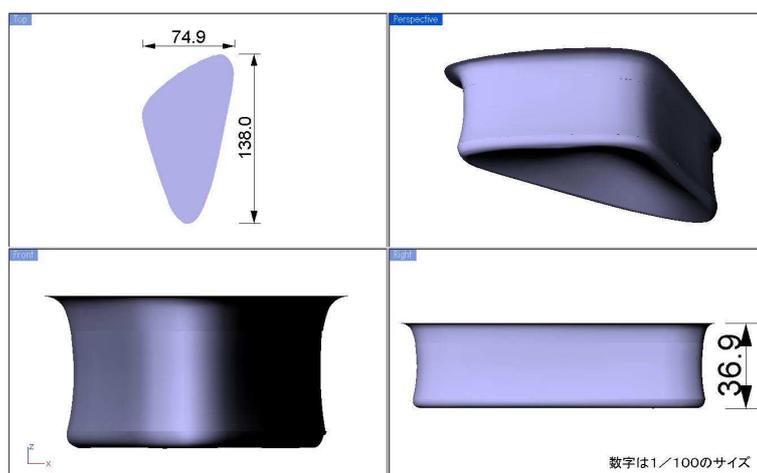
1) 自由曲面創成の技術開発

従来のCADと異なるVOXELベースの自由曲面創成システムを選定して、その性能・機能評価を実施した。

CADモデリングへのデータ受け渡しとして、自由曲面創成システムからのデータ変換機能を検証した。特に、自由曲面データの変換を行い、CADへの転送を実施した。CADシステム間でのモデルデータの受け渡しとして、外部CADのIGES出力データをCADシステムに転送して、データ変換機能を検証し、特に、自由曲面データでの転送を可能とした。

自由曲面創成システムによるIGES面の生成(面の生成、ゼブラマッピングによる検証)およびCADデータ編集(任意部分の形状変更)を行い、CADへのデータ転送を確認した。

さらに、面生成機能と曲面編集機能として、建築モデルでのIGESデータの生成面を対象にデータ転送を行い、CADでのデータ作成を確認したが、特に問題なく処理できた。



データの受け渡し

2) 画像マッピング機能の技術開発

3次元スキャナ計測モデルと自由曲面創成システムである自由曲面創成システムによるモデルに対する意匠デザインの画像マッピング機能を検討する。これは、新たに導入した RP 造形システムでのモデル製作に必要なカラーリングモデルの作成機能となった。

3次元スキャナの性能・機能評価

3次元モデリングへの展開手法の検討

自由曲面創成システムでのカスタマイズの検討

また、CAD モデルに対して意匠画像をマッピングし、画像の取扱いおよび貼付処理での技術的な問題を解決して、その有用性を検証した。

3) 大容量データへの対応

3次元形状モデリングシステム自由曲面創成システムにて高精細データを扱えるよう PC の環境について検討し、実行環境改善の方法を見直した。

自由曲面創成システム内で作業する際、ボクセルのサイズはメモリ量に依存する。当然、ボクセルのサイズが小さくなれば、より多くのメモリを消費する。

現在、4GB のメモリを搭載しているが、32bitOS のため、3GB までしか使用できない。この状態で、ボクセルサイズは 0.3mm が限界であり、作業中もメモリ不足のためアプリケーションエラーを引き起こす。

ボクセルサイズが 0.3mm では、テクスチャを貼り付けるためにモデルを 2 分する処理を行うと、つなぎ目が舐めてしまい、パーティグラインが目立つ。

したがって、目立たなくするためには、エッジ部分のボクセルサイズを小さくし、より精度を高めることが必要である。

精度を高めるため、根本的にコンピュータに搭載しているメモリの量を増やすことが必要であることが分かった。

4) 3次元計測機能の技術開発

a) 撮影装置を用いた形状測定 - その 1 -

K社製の 'VIVID9i' を用いて、実際に、いくつかのモデルを撮影し、その品質を評価して、性能および機能面での技術課題を明確にした。

このため、VIVID データを CAD システムへ取り込みを実施した。すなわち、VIVID (PET) からの形状データ (STL) を CAD システムへ正常に取り込めるかを検証した。

形状データの取り込み

VIVID に STL データを読み込ませると、各ショットのデータが重なって表示した。各 STL データは個々の座標系をもっており、CAD システム内の座標系に合わせて表示するため重なって表示した。CAD システム内で、各 STL データの位置合わせを行い、合成が完了となった。

写真データの取り込み

CAD システムで合成した形状データを STL データとして出力し、その形状データに合わせて PET で撮影した写真データを取り込む。さらに、写真データからラインでトレースし、形状を作成した。

形状データ、写真データともに VIVID (PET) からのデータが使用できることが確認できた。

その結果、問題点として次の事項が挙げられた。

計測時間がかかる。(全体で約 15min)

黒色部、反射部、複雑形状の形状が生成できない。

レーザー光の照射のため、目を瞑った状態になる。

b) 撮影装置を用いた形状測定 - その2 -

撮影時間の短縮および被写体での制約を解消する手段として、他社製のシステムとして、P社のTDS非接触3次元スキャナおよびZ社のZScanner700CXをもとに、モデリングを施して、その品質を評価した。

その結果、VIVID9i撮影装置を用いた際の問題点を克服できるほどの実力を持たないことが判明した。

c) 撮影装置を用いた形状測定 - その3 -

T社製の3次元スキャナは、プロジェクタから投影される白と黒の縞模様をDVカメラで捉えることによって3Dスキャンを行い、セルフキャリブ方式のため、計測時に、プロジェクタやDVカメラを自由に動かすことができる。

このシステムの技術評価を行った結果、次の問題点などが挙げられた。

撮影時間が数十秒かかる。

黒色部の画像データが検知されない。

反射部は対象外となる。

複雑な凸凹突起部は測定できない。

複数方向からの同時撮影が困難である。

これまでの調査の結果、次の評価項目およびプライオリティによる選定を行った。

撮影時間

全方位画像

システム価格

安全性(レーザー光線による撮影の場合、Class分類)

拡張性(システム構成、データ授受)

販売実績(サポート力、システム安定性・信頼性)

測定精度

被写体の大きさ

可搬性

調査結果を踏まえて、3次元形状測定システムを選定するとともに、システム構成の個別機能および必要性の可否を判定し、ソフトウェアとしての拡張性や他のシステムとの相性などを確認した。

5) 適用部品の検討

これまでのモデリング技術およびデータの変換・受け渡しプロセスを踏まえて、自動車エンジン部品への展開を検討した。特に、排気管周りの高熱が発生する辺りの部品への適用を進めた。

【造形パラメータ】

X								
計測	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	
測定値 (mm)	9.9	10.1	10	110.05	110.05	110	250.05	
誤差(%)	-1	1	0	0.05	0.05	0	0.02	
Y							Z	
計測	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Z1	Z2
測定値 (mm)	10	9.95	10.05	85.05	85.05	200.1	5	5.05
誤差(%)	0	-0.5	0.5	0.06	0.06	0.05	0	1

3) コーティング処理の技術開発

コーティングのための材料の選定や処理方法の検討を行った。

その1

研究内容

表面処理：仕上げ剤の評価

UV コーティング剤の評価

試験結果

- ・塗装に問題はなかった。
- ・色がついてしまう(茶白色)。

その2

研究内容

表面処理剤の評価

コーティング剤の評価

試験結果

- ・処理工程 では、塗膜にピンホール発生。そのため、乾燥温度を下げる。
処理工程 では、塗膜にピンホール発生せず。ただし、今回の乾燥条件では表面触ると跡がつき、乾燥時間を長くする必要がある。
- ・UV コーティングよりも乾燥時間はかかるが、表面荒れも問題なく、色も付かない。

その3

研究内容

造形物色むら対策

色むら対策として、

- ・造形後に造形物を研磨する。
- ・含浸時の色むらは、浸透量が均一でないためと思われるので、多めに浸した。

試験結果

- ・色むらは抑えられた。



RP カラーリング造形品

4) 耐熱性・耐油性部品の技術開発

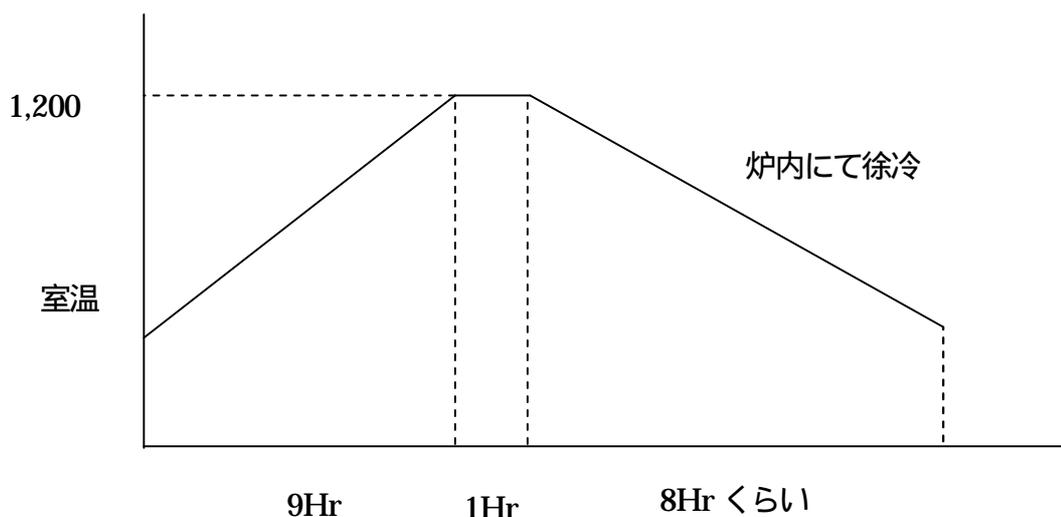
耐熱性・耐油性部品の開発のための材料の選定や処理方法の検討を行い、1,000 程の高熱状態でも耐えられる RP 部品の開発を目指して、まず造形できる材料の開発を実施した。

RP 造形機の制約を考慮して、ベース材料を RP 材料とし、セラミック材料を組み合わせた混合材料とした。結合剤および造形条件は、これまでの鋳造型技術の開発にて得られたノウハウを生かして、試行的に求めた。

まず、テストピースを作成しながら、各工程での状態を評価し、仕様の検討を進めた。

結果：

単調な加熱処理では RP 造形品に変形やひび割れが発生し、NG であり、加熱パターンを段階的に上昇させるモードに変更していくこととした。

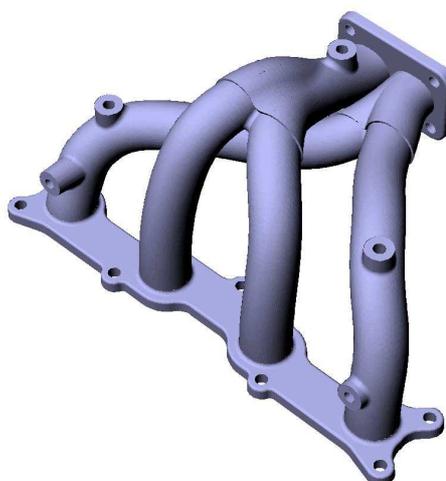


これまでの段階的に上昇させるモードの加熱処理の前に、素焼き工程を加えて、RP造形品の状況の評価したが、改善の余地はあるものの、形状変化が少なく、強度も保持されている。今後、熱処理工程として、加熱パターンを段階的に上昇させるモードに変更していくこととした。

これまでの熱処理に加えて、材料の改良を試みた結果、混合材料の変更とその比率を調整すれば、熱処理での加熱温度を若干下げても、同等な品質が得られることが分かった。

5) 耐熱性・耐油性部品の適用

耐熱性・耐油性部品の自動車部品への適用として、接続部品やケース部品のモデルを検討した。特に、これまでとは異なる使用環境（高温、潤滑油、局部負荷）での対応能力を評価した。接続部品では、寸法精度の確保と変形量の極小化が重要であり、今後の評価項目の1つとして検証していく。



自動車用耐熱部品への適用

2 - 3 樹脂含浸による RP 造形多様化の技術開発

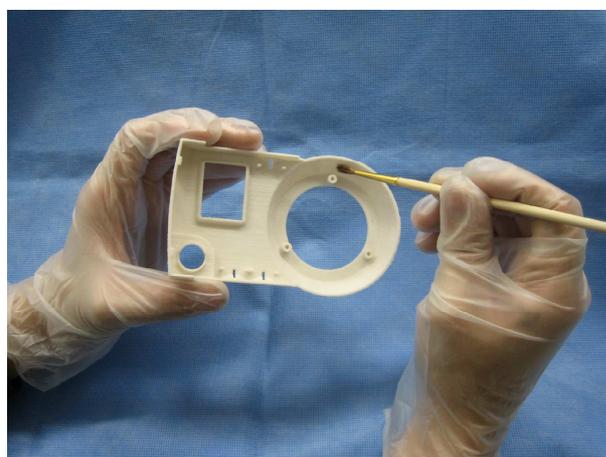
RP 造形品に対する前処理および含浸剤による軟化処理を行うために、一液性ウレタン樹脂をベースとした材料を開発した。また、含浸された樹脂により新たな結合を発生させることにより、柔軟で強靱な特性をもつ RP 造形品に変化させる手法も開発した。

これは、3次元モデルの RP 造形製作において樹脂材料を含浸することによって、材料の物性を変更する手法であり、この適用によって、従来の単一的な製品が、同じ製作法により、さまざまな剛性や強度を持つ製品に生まれ変わることになる。

さらに、表面処理のコーティング処理により、デザイン製品の見栄えが大きく変わってくる。このコーティング処理手法に関する技術も開発できた。

実施内容

RP 造形機を用いて、モデルの造形を行い、さまざまな樹脂材料の含浸処理を施して、その有用性を検討した。



樹脂材料の含浸

RP 造形品は、水との親和によって硬化させたものであり、水分を含んでいること、細かい多孔質体であり高分子の樹脂体の浸透は難しいことから、中分子のオリゴマー液体を浸透させオリゴマー液体を水分と反応させて高分子体(樹脂)を形成させる。なお、このオリゴマーとして、湿気硬化性ポリウレタンで樹脂浸透液の開発を検討した。

研究開発の工程は、材料構成の研究開発、浸透試験の評価、モデルの機械特性評価の順で実施した。



材料構成：

ポリオール素材、 イソシアネート素材、 触媒、 溶剤の評価を行い、適正素材の選定をする他、必要に応じて 界面活性剤も評価した。

浸透試験：

選択された各素材から得られた樹脂浸透液の浸透試験を行った。

機械特性：

プレート状の RP 造形品に樹脂浸透液を含浸させて、曲げ機械試験の測定を行い、強さと撓み性の評価を行った。

これらの結果、RP 粉体材料のバインダーとして使用されていた樹脂材料を焼成させることで脱離（溶解）することができ、脱離させた材料に新たに作製したオリゴマーを含浸させることで、加工しない状態のたわみ量から2~3倍向上させることができた。

また、このオリゴマーを含浸させることで、柔軟性も有しており、少なからず変形させることが可能となった。

20%程度の樹脂を含浸させるだけで、ここまで物性（曲げ強度）を向上させることができたのは画期的であると判断している。

2 - 4 医療用ファントム製作の技術開発

RP 材料の選定や注型材料の評価を行い、人体の構造を反映した異質材料で構成された複雑形状モデルの製作技術を確立した。

医療撮影画像にもとづく 3 次元モデルの RP 造形品を利用して、医療画像撮影装置向けのファントムを製作のための技術を開発した。

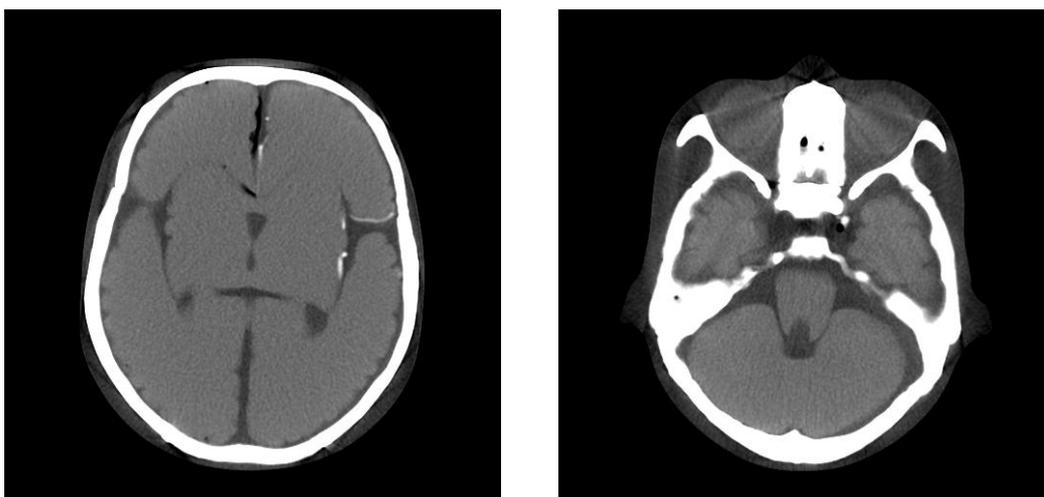
このシステムを構築するために、各工程での製作手法の選定、工程間での仕様の確定、最終出力製品の評価などを取りまとめた。

また、医療撮影画像にもとづく 3 次元モデリング技術を進めるために、これまで実施してきたシステムを進化させた形で、新たな機能を付加したシステムの構築も検討した。

実施内容

ファントムのもつ必要要件を明確にするとともに、要件を踏まえた上で、骨部、血管部、脳実質部、表皮部などの部位ごとの製作工程の立案と技術課題の整理を実施した。

ファントムは、頭部を分割して、線量計の配置やファントムの組み付けを容易にする仕様とした。



ファントムの元となる CT 画像

(1) ファントム材料の選定

まず、脳実質部のファントム材料を選定した。さらに、材料の基本諸元を確認するための基本モデルの製作を実施した。

JAERI-M 87-081

Table 1 Base materials and additives

a) Base materials		SZ-50 (SZ-50U**)	SZ-49	L-1***
Density* (g/cm ³)		1.052 (1.074**)	0.990	0.280
Elemental composition (wt%)	H	8.49	9.18	6.20
	C	72.26	71.99	60.05
	N	4.49	2.46	5.60
	O	14.76	16.37	28.15
Electron density (n/cm ³)		3.44×10 ²³	3.27×10 ²³	

* Measured value, ** Hardness type of SZ-50,
*** Foamed polyurethane

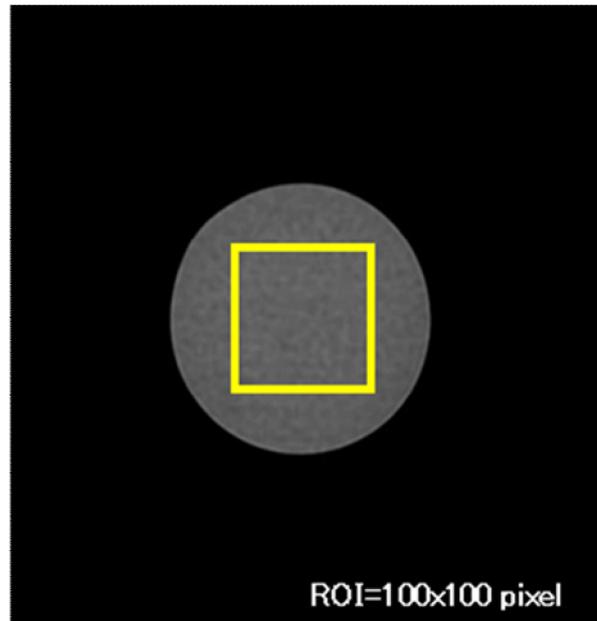
b) Additives		Ester of phosphoric acid (C ₂ H ₅ ClO) ₃ PO (liquid)	Calcium carbonate CaCO ₃ (powder)
Density* (g/cm ³)		1.43	2.73
Photoelectric mass att. coeff. ** (cm ² /g)	17.2 keV	5.442	8.139
	60.0 keV	0.109	0.183

* Measured value, ** Calculated value



ファントム材料の選定

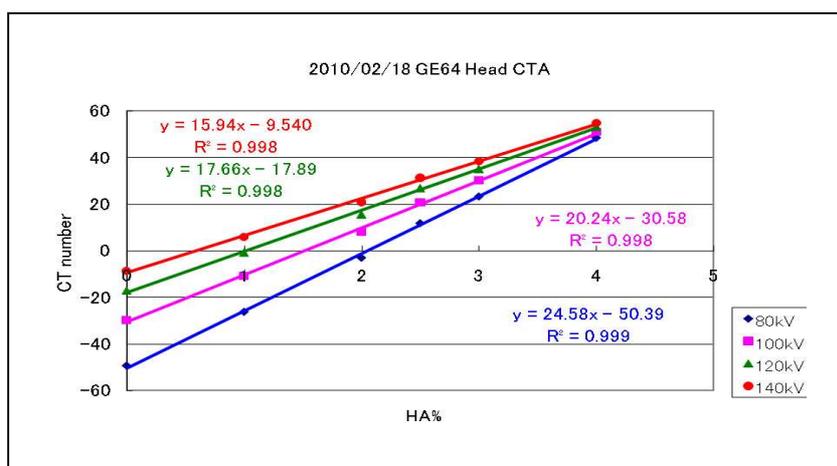
これらのファントム材料のCT値を測定し、配合比率を決定した。



ファントム材料のCT値測定(1)

HA%	80kV	100kV	120kV	140kV
0	-49.4051	-29.668	-16.9536	-8.6637
1	-26.2856	-10.7411	-0.6787	5.8466
2	-3.0383	8.1315	15.6856	20.7736
2.5	11.8162	20.6768	26.9607	31.1913
3	23.3179	30.1946	35.1819	38.3622
4	48.5318	50.904	53.2825	54.6084

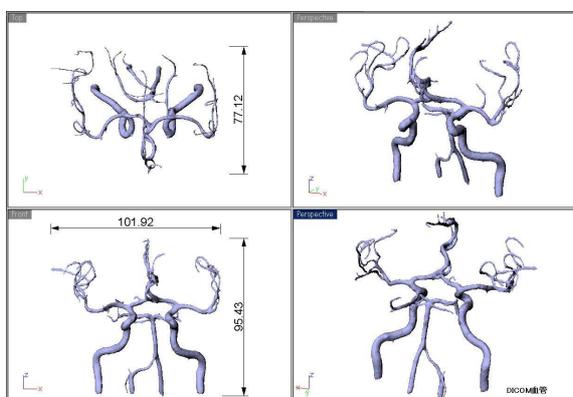
ファントム材料のCT 値測定 (2)



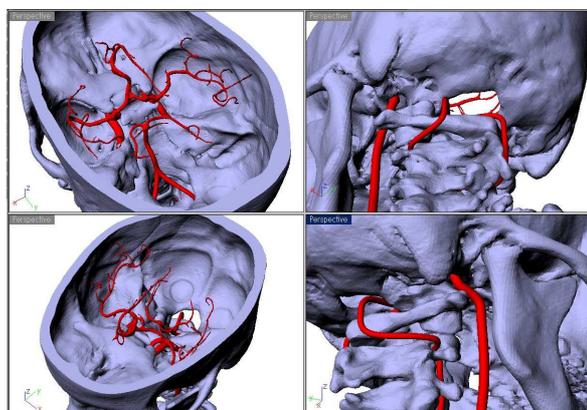
ファントム材料のCT 値測定 (3)

(2) 血管および骨部の製作

血管部の製作に関しては、従来からの RP モデルを用いた製作法を適用することとした。これに伴い、CT 画像からのモデリングを行い、骨部との取り回しを検討した。



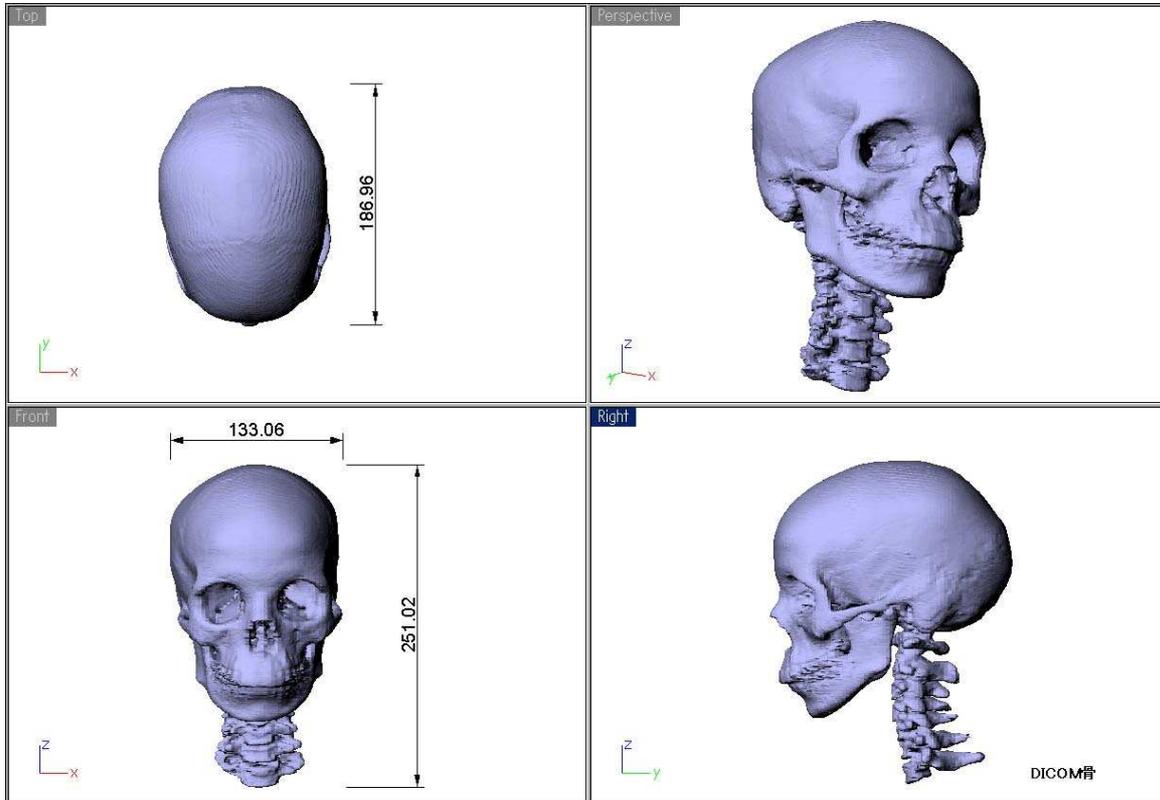
DICOM 画像にもとづく血管モデル



頭部モデル

頭蓋骨形状を、CT 撮影画像にもとづき生成した。

頸椎の構成と血管の配置を明確にする必要がある。特に、ファントム製作における取り回しが複雑になるため、工夫を要する。



頭蓋骨のモデリング

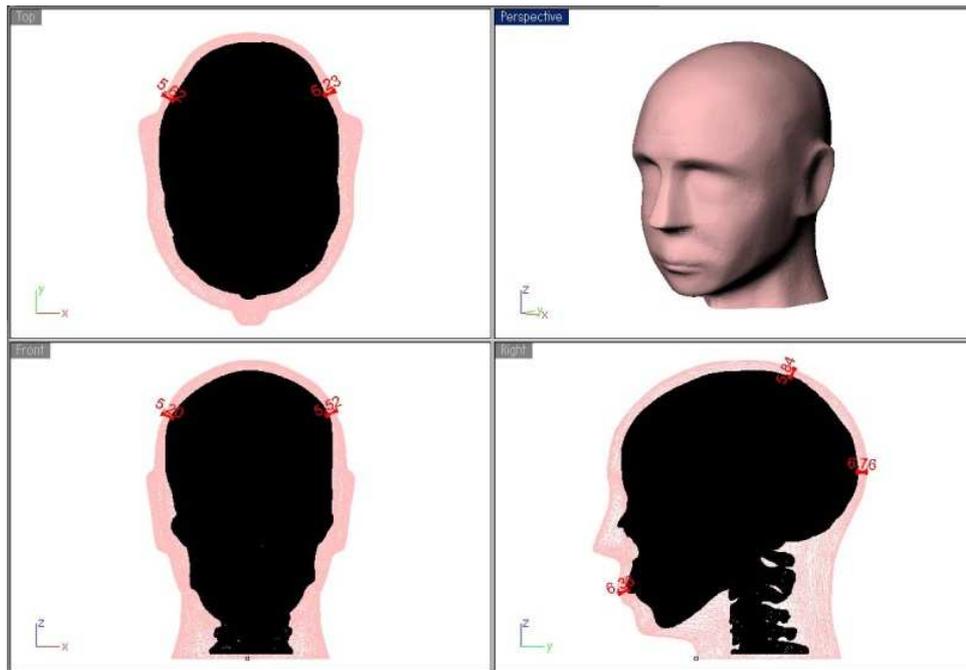
(3) 脳実質部の製作

血管部を中子モデルとし、外部の骨部を外型として、脳実質部を注型にて製作する。血管モデルを含めた注型処理に関しては、まず関心領域を抽出して、製作法の妥当性を検証した。

脳実質内および堆骨周りでの血管の取り回しの検討と製作上の対応策について検討した。特に、血管の取扱いは重要で、ファントム内での形成を確実な製法で行う必要がある。

(4) 頭皮部の製作

頭蓋骨と脳皮質の位置関係をコンピュータの画像上で検討するとともに、頭蓋骨の固定方法を検討した。特に、注型用の型のセッティング位置合わせを確実に行う仕様を決定した。



頭皮部の検討

(5) 注型作業

頭蓋骨 RP 造形モデル内への血管モデルの配置を行い、注型のための段取りを行った。特に、気泡の発生を回避する方策と離型のためのコーティングを施した。

RP 造形モデルおよび血管モデルを配置して、注型を実施した。特に、ファントム内での気泡の発生や血管の中空形状の妥当性を検証した。

注型されたファントムを仕上げるとともに、外観からの出来具合の確認を行った。当面の目標は達成できたため、今後、造影剤の注入状態での CT 撮影を行いながら、仕様の変更やその展開について関係者と協議を進めていく。

以上