

平成 27 年度採択
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「射出成形時に発生するソリ等の変形等に対応した大型金型用
トータルシステムの研究開発」

研究開発成果等報告書

平成 30 年 3 月

担当局	中部経済産業局
補助事業者	扶桑工機株式会社 国立大学法人岐阜大学

目 次

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	3
1－2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	5
1－3	成果概要	7
1－4	当該研究開発の連絡窓口	9

第 2 章 本論

1	ソリ等の変形解析及び逆ソリ金型設計モデルの最適化と C A D データ変換技術の確立	1 0
1－1	ソリ等の変形解析の確立	1 0
1－2	点群からハラシモデルの設計 C A D データへの変換技術の確立	1 8
2	ハラシモデルを実現する金型設計・加工技術の確立	2 0
2－1	金型設計技術の確立について	2 0
2－2	金型加工技術の確立について	2 1
3	ハラシモデルによる金型の評価	2 7

最終章 全体総括

1	研究開発の成果	3 1
2	研究開発後の課題	3 2
3	事業化展開について	3 3

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

(三) 精密加工に係る技術に関する事項

1 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

① 川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

カ. 生産性・効率化の向上、低コスト化

(4) 川下分野特有の事項

4) その他の川下分野に関する事項

a. 自動車分野に関する事項

① 川下製造業者の特有の課題及びニーズ

ウ. 複雑形状化・一体加工化

自動車産業では、原油価格の高騰や排ガス規制の強化、燃費規制の強化、さらには消費者のエコロジー志向と節約志向の広がりにより、ハイブリッド自動車（HV）・電気自動車（EV）を中心とする環境適応・低燃費車（エコカー）の市場が急拡大している。このような中で、内燃機関と電気モータを組み合わせたハイブリッドシステムは、車両駆動用モータの高出力化が必要となり、この出力向上に伴う発熱量増加に対応するための冷却性能の向上を図るために、ラジエータ構造も大きく変化している。

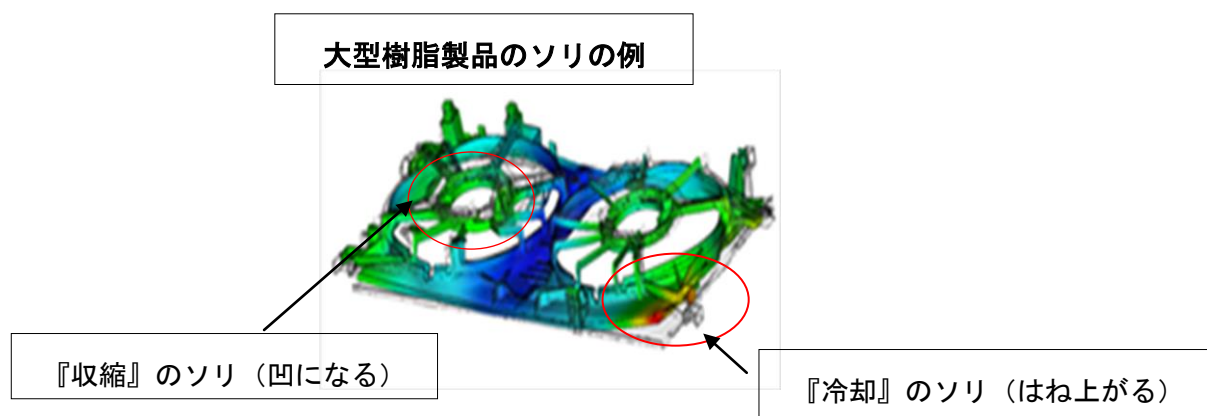
具体的には、ハイブリッド用のモータ、発電機、インバータに対する冷却に関しては、エンジン冷却系とは別に専用ラジエータを備えた水冷却系で行われており、この専用ラジエータはエンジン用ラジエータと共に車両前部吸気口に置かれている状況である。

そして、この樹脂材料は、ひまし油原料のバイオベースナイロン樹脂にガラス繊維30%を含有したものが使用されており、成形状況も、複雑形状化・一体化成形できる構造に変化している状況である。

当社では、ラジエータに使用されるシュラウド等の成形用金型の生産を行っているが、ラジエータの構造がハイブリッド車の普及に伴って、冷却タンクが二層化するとともに、ラジエータの取り付け方法もボルト締めから樹脂構造での一体化する等の複雑形状化し、大型化している状況である。（ラジエータ金型の大きさ：、H900mm x W1530mm x T720mm）

以上から、設計上においてソリ等の変形を予測して金型を製造するが、実際にトライ成形すると必ず変形が生じて、その修正に時間とコストをかけているのが現状である。このソリ等の問題は、プラスチック成形には必ず生じる課題であり、その発生要因は成形品の「肉厚差」の問題、金型の温度分布の差である「冷却差」が主因といわれている。

本研究開発は、このソリ等の変形への対応として、成形シミュレーションの高精度化と冷逆ソリ金型用成形モデル（通称：ハラシモデル）の適正化等により、射出成形において発生するソリ等の変形を防止することにより、大幅なコスト低減を実現させ、川下製造業者のニーズに対応するものである。



研究目標

研究開発においては、CAE解析ソフト等の領域を越え、実金型製作の立場でトータルに変形対応を実施した。具体的には、成形シミュレーションの高精度化と逆ソリ金型設計モデル（通称：ハラシモデル）の適正化等により、射出成形において発生するソリ等の変形量を設計段階で予測し、予め金型を逆ソリ形状で製作して最初のトライ後の金型修正を行なわなくとも、当初の狙い通りの成形品を取り出すことを目標とし、研究開発にあたっては次のテーマにより実施するとともに、これに関する課題と目標は次のとおりである。

① ソリ等の変形解析及び逆ソリ金型設計モデルの最適化

ソリ等の変形予測の解析と逆ソリ用金型設計モデルを点群データ等技術により確立する。

② ハラシモデリングを応用した金型設計・加工技術の確立

多軸冷却構造を有する金型構造の設計技術と冷却構造を有する金型加工技術を確立する。

③ ハラシモデリングによる金型の評価

金型及び成形製品の検証・評価を行い、その結果をフィードバックする。

本研究開発実施における技術目標値は、以下のとおりである。

① 金型生産状況について

区 分	現 状	目 標 値
リードタイム（金型納期）	1（5ヶ月）	0.4（2ヶ月）
金型修正回数	1（平均6.5回）	0.3（2回以下）
コスト削減	現状100	70（30%削減）

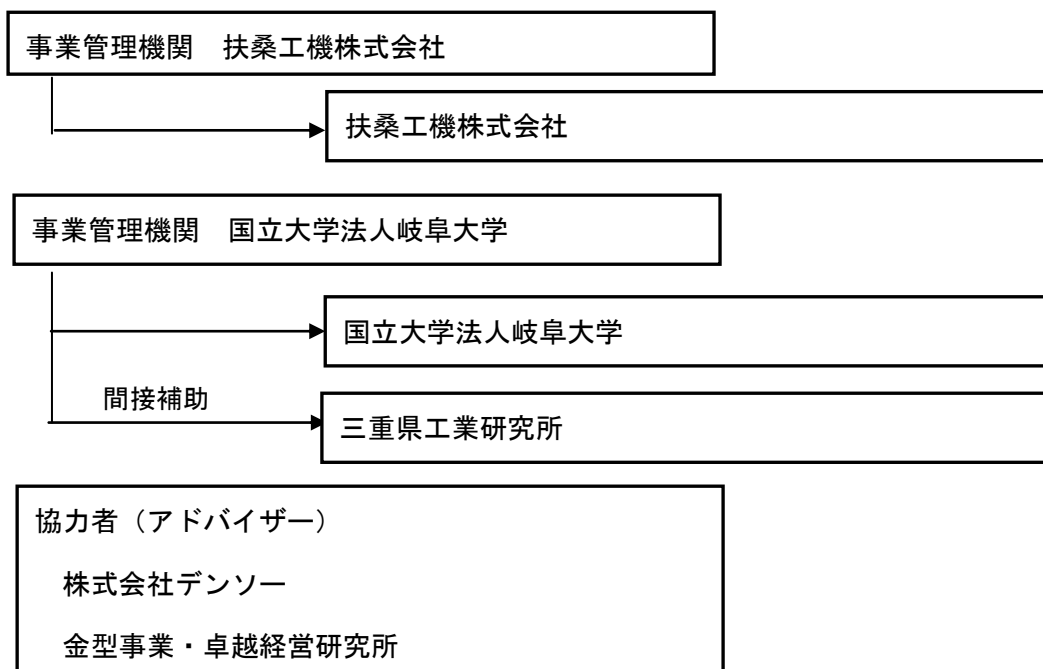
② 金型加工技術について

区 分	現 状	目 標 値
加工精度	2／100mm	1／100mm
冷却構造、修正回数	1（平均6.5回）	0.3（2回以下）
金型寿命	5年程度	8年程度
金型工数	2,000h/型	1,200h/型

③ 解析予測変形量（狙い寸法）と実際の成形製品での変形誤差率 5%以下

1-2 研究体制

研究実施体制



研究員

【事業管理機関】 扶桑工機株式会社

管理員

氏 名	所属・役職	備考
加藤 正生 伊藤 隆章	技 監 経営企画室 リーダー	

研究員

氏 名	所属・役職	備考
水谷 宣夫 市川 昌美 原田 康夫 前田 憲正	取締役 東員工場・精密部品担当 東員工場長 技術グループ 技術グループ・リーダー	

【事業管理機関】 国立大学法人岐阜大学

管理員

氏 名	所属・役職	備考
砂田 博	次世代金型技術センター コーディネーター	

研究員

氏 名	所属・役職	備考
王 志 剛 井上 吉弘	工学部教授 工学部准教授	

【間接補助事業者】

三重県工業研究所

氏 名	所属・役職	備考
林 一哉 中村 創一	ものづくり研究課 課長 ものづくり研究課 主査研究員	

1-3 成果概要

(1) ソリ等の変形解析及び逆ソリ金型設計モデルの最適化とCADデータ変換技術の確立

実証用金型の解析と設計・製作を行うに当たっては、ハラシ量を図ることが必要となることから、実施している使用材料の物性データと類似材料の解析・比較を行うとともに、ソリの解析に必要な材料データを肉厚変動部等の引張、曲げ試験により測定し、これら簿分析結果を射出成形の保圧・冷却条件の最適化にフィードバックした。

そして、ハラシモデリングの適正化を進めるとともに、使用材料の物性データと類似材料の解析・比較及び形状変化・繊維配向などによる製品の変形挙動の変化を明らかにし、その原因究明と対策に用いるため、肉厚変動部等の引張、曲げ試験を実施して、その結果を射出成形の保圧・冷却条件の最適化に反映した。

また、逆ソリの研究開発と試作成形品との比較検証について、CAE解析の条件変更、各種パターンの解析及びこれらの評価結果を現物成形との対比による比較検討を通じて、発生原因の把握を行ったところである。

実証用金型による変形誤差率であるが、目標値の5%以下とするためにハラシ量の精度向上を目的として、計測データ及びCAE点群データから、CADデータの変換を、3Dカメラを使用した定点観測、経時変化、24時間経過後の測定評価から、逆ソリ数値の精度向上を図りながら、解析と実際の間で発生している入出力の差異が明確化することで、目標値を上回る3%を達成した。

(2) ハラシモデルを実現する金型設計・加工技術の確立

噴水利用による製品形状にトレースした回路により多軸冷却構造の解析を行い、金型と成形品の温度分布調査を実施することで、温度ムラによる成形品のソリを確認しながら最適多軸冷却構造の検証を行うとともに、冷却回路（冷却管路）の熱伝導と熱伝達を、解析結果とテストピース製作により比較検証した。

そして、多軸冷却構造解析と加工プロセスの検討を、噴水利用による製品形状にトレースした回路により行い、実証用金型と成形品の温度分布調査で、温度ムラによる成形品のソリを確認した。

温度ムラによる成形品のソリを解消するための手段である『多軸冷却構造』にかかるCAE解析と金型設計技術の確立に関しては、金型温度一定下での簡易的な解析により、ソリを解消できる

冷却回路を考案し、その結果を金型設計に反映させるとともに、『多軸冷却構造』の解析結果と実成形の比較検証を、実証用金型内に温度センサーを組み込み、金型温度・樹脂温度のモニタリングで比較を行うことで、加工精度の妥当性を確認した。

(3) ハラシモデルによる金型の評価

実証金型により、成形条件(冷却時間・サイクルタイム等)を変えながら、成形品における変化を確認するとともに、その結果を金型にフィードバックしながら、ソリ等の変形等に対応した大型金型用トータルシステムの確立を図った。

研究開発の目標値と達成状況

① 生産性について

区分	現状	達成状況	目標値・判定(ABC)
リードタイム(金型納期)	1(5カ月)	0.4(2カ月)	0.4:(A)
金型修正回数	1(平均6.5回)	0.3(2回以下)	0.3:(A)
コスト削減	現状100	70(30%)削減	70:(A)

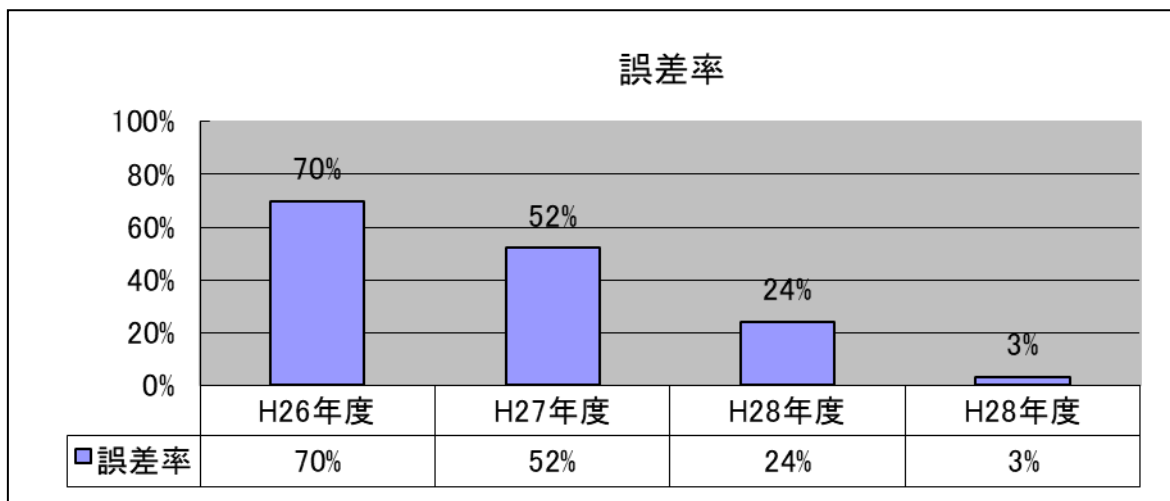
② 金型化加工技術について

区分	現状	達成状況	目標値・判定(ABC)
加工精度	2/100mm	1/100mm	1/100mm:(A)
冷却構造	1(平均6.5回)	0.3(2回以下)	0.3:(A)
金型寿命	5年程度	8年程度	8年:(A)
金型工数	2,200h/型	1,200h/型	1,200h/型:(A)

③ 解析予測変形量（狙い寸法）と実際の成形製品での変形誤差率

目標値： 5 %以下

達成状況：変形誤差率 3 %



1－4 当該研究開発の連絡窓口

扶桑工機株式会社 技監 加藤 正生

電話 0594-76-0061

FAX 0594-76-0668

E-mail mkato@fusokoki.co.jp

国立大学法人岐阜大学 次世代金型技術研究センター

コーディネーター 砂田 博

電話 058-293-2497

FAX 058-293-2496

E-mail sunada@gifu-u.ac.jp

第2章 本論

1 ソリ等の変形解析及び逆ソリ金型設計モデルの最適化とC A Dデータ変換技術の確立

実証用金型の解析と設計製作を行うとともに、ハラシ量の検討を実施するが、そのためには樹脂成形材料の流動解析用物性データも調査しながら、冷却の有無による寸法変形の状況を検討した。

ハラシ量の検討に際して、使用材料の物性データと類似材料の解析と比較及び肉厚変動部等の引張、曲げ試験を行い、その結果を射出成形の保圧・冷却条件の最適化に反映させるとともに逆ソリの研究開発と試作成形品との比較検証について、C A E解析の条件変更、各種パターンの解析やこれらの評価結果を現物成形との対比による検討を通じて、発生原因を把握した。

1-1 ソリ等の変形解析の確立

樹脂射出成形製品のソリ変形解析モデルの確立に関しては、ソリの発生要因を考慮しながら、ソリ等の変形予測を金型モデルに反映し、高精度な流動解析技術を活用して、実金型と実成形条件とバーチャルモデルとの比較検証により、設計段階におけるソリ変形に対する対応技術の確立を図るために、形状変化・繊維配向などによる製品の変形挙動の変化を明らかにし、その原因究明と対策を図る必要がある。そのため、岐阜大学において、実製品のソリ形状に対応する製品内残留応力の状態を割り出し、射出成形の保圧・冷却条件の最適化を図るために、材料試験機を導入して分析した。三重県工業研究所においては、X線CTにて繊維配向の分析を行った。その実証金型を用いて、成形直後からの変形挙動を観察するために3Dカメラを用いて定点観測を行った。

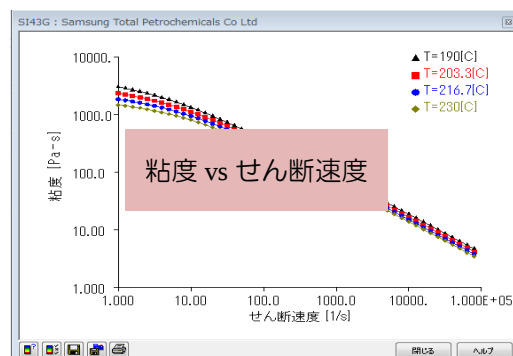
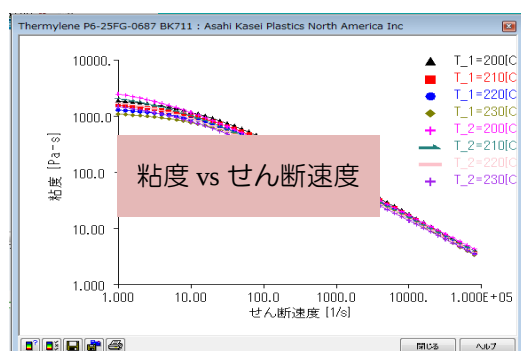
(1) P P - G F 2 5 代替材での物性値（粘度&PVT 抜粋）比較分析

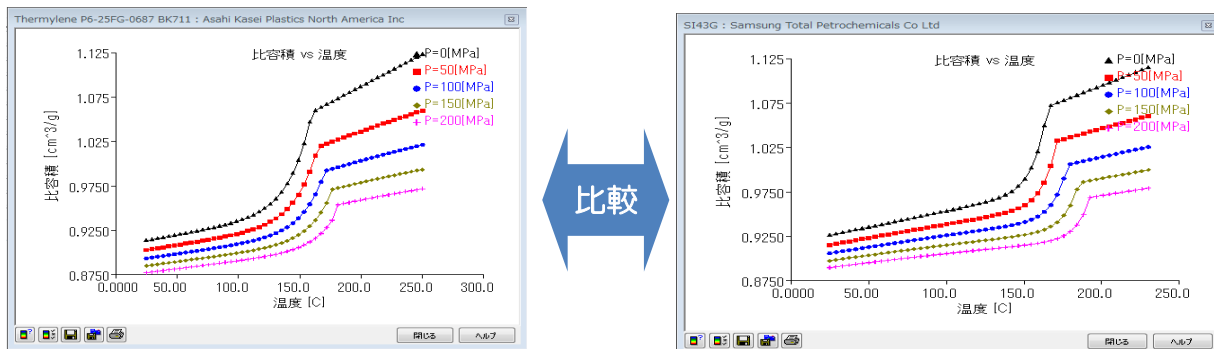
メーカー：Asahi Kasei Plastics North America Inc

メーカー：Samsung Total Petrochemicals Co Ltd

グレード：Thermylene P6-25FG-0687 BK711

グレード：SI43G





実成形材料に対するモールドフロー解析データを有していないことから、二種類の代替材の物性値を比較した。

⇒ 大差がないことが理解されたので、代替材料により解析を実施した。

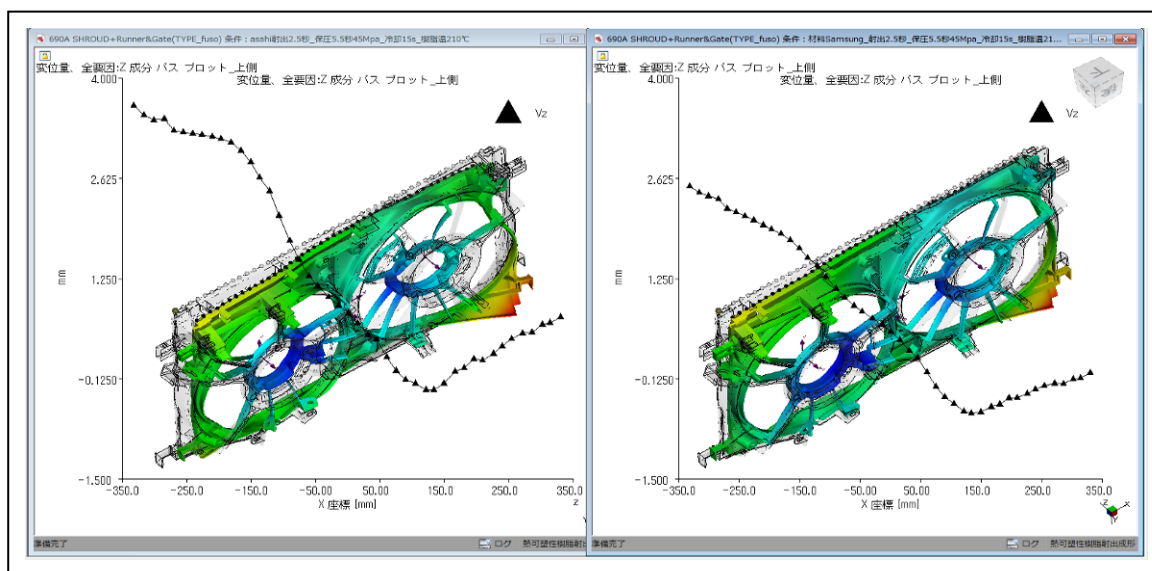
(2) PP-GF25の代替材での解析（変位置比較）

メーカー：Asahi Kasei Plastics North America Inc

メーカー：Samsung Total Petrochemicals Co Ltd

グレード：Thermylene P6-25FG-0687 BK711

グレード：SI43G



代替材での解析結果からすると物性値の差よりも、ソリ解析結果の差が大きかった。

以上から実成形材料での解析が必要不可欠であることが判明した

(3) シュラウドファン実成形材料 (PP-GF25) 物性値調査

メーカー：プライムポリマー、グレード：GH455R

基本物性	銘柄名	GH455R	
	固化温度(°C)	110	
基本物性	No-flow温度(°C)	120	
	溶融時物性	固体時物性	
基本物性	参照温度	220	参照温度 23
	密度(kg/m ³)	920	密度(kg/m ³) 1080
基本物性	比熱(J/kg/°C)	2500	比熱(J/kg/°C) 1600
	熱伝導率(W/m/°C)	0.22	熱伝導率(W/m/°C) 0.27
反り解析用	参照温度(°C)	23	
ベースレジ	ヤング率(kg/mm ²)	130	
	ポアソン比	0.4	
強化繊維	線膨張係数(1/°C)	1.20E-04	
	参照温度(°C)	23	
強化繊維	繊維含有率(wt%)	25	
	密度(kg/m ³)	2500	
強化繊維	ヤング率(kg/mm ²)	7.60E+03	
	ポアソン比(-)	0.25	
強化繊維	線膨張係数(1/°C)	5.00E-06	
	アスペクト比(-)	20	

粘度特性		
温度(°C)	せん断速度(1/sec)	粘度(Pa-sec)
180	6080	44.04
180	2432	81.05
180	1216	133.1
180	608	218.9
180	243.2	409.9
180	121.6	838.5
180	60.8	1683.8
180	24.32	1708
180	12.16	2461
180	6.08	3192
200	6080	33.67
200	2432	66.25
200	1216	112
200	608	180.6
200	243.2	330.2
200	121.6	511.5
200	60.8	793.7
200	24.32	1326
200	12.16	1764
200	6.08	2139
220	6080	30.37
220	2432	60.76
220	1216	100
220	608	159.8
220	243.2	289.6
220	121.6	452.8
220	60.8	686.6
220	24.32	1050
220	12.16	1383
220	6.08	1656
240	6080	28.41
240	2432	56.02
240	1216	91.11
240	608	143.1
240	243.2	249.4
240	121.6	390.6
240	60.8	576.7
240	24.32	838.5
240	12.16	1006
240	6.08	1258
260	6080	25.9
260	2432	49.53
260	1216	78.4
260	608	123.6
260	243.2	218.7
260	121.6	339.2
260	60.8	470.3
260	24.32	650.2
260	12.16	777.2
260	6.08	896.6

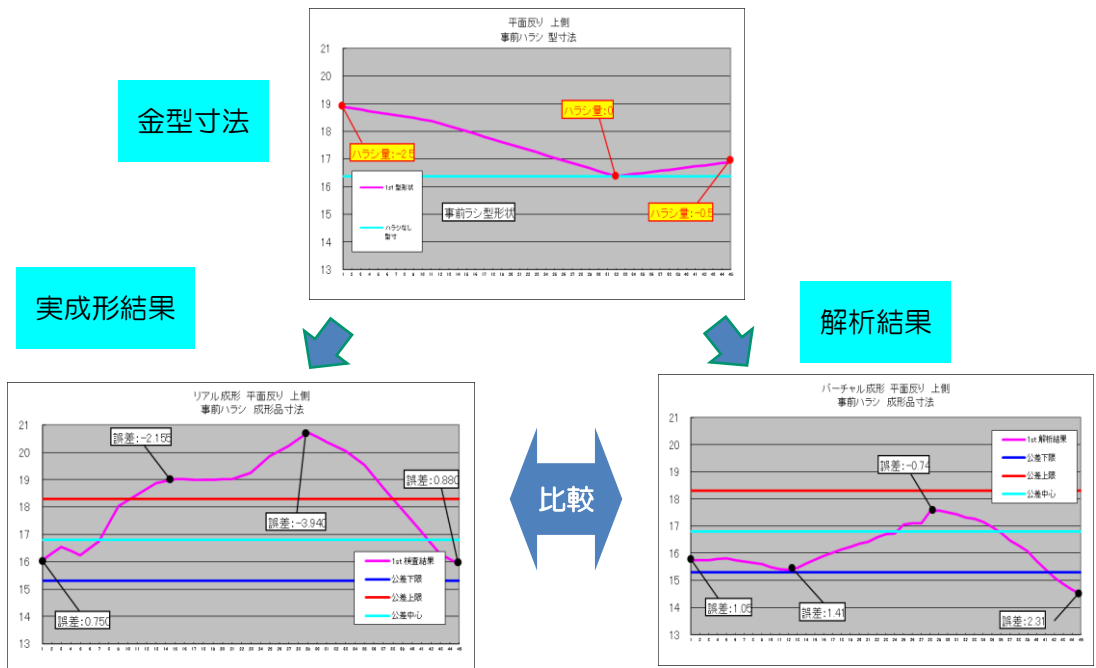
PVT特性					
T[°C]	V[cm ³ /g]				
	0.1 MPa (d)	20 MPa	40 MPa	80 MPa	120 MPa
260	1.1192	1.0911	1.0637	1.0321	1.0019
255	1.1162	1.0882	1.0619	1.0300	0.9996
250	1.1129	1.0861	1.0589	1.0277	0.9978
245	1.1092	1.0827	1.0568	1.0252	0.9963
240	1.1063	1.0805	1.0544	1.0232	0.9940
235	1.1039	1.0780	1.0518	1.0205	0.9928
230	1.0997	1.0744	1.0487	1.0188	0.9912
225	1.0970	1.0719	1.0465	1.0161	0.9892
220	1.0938	1.0690	1.0440	1.0140	0.9875
215	1.0907	1.0659	1.0417	1.0115	0.9862
210	1.0861	1.0631	1.0387	1.0089	0.9846
205	1.0829	1.0593	1.0365	1.0066	0.9832
200	1.0796	1.0570	1.0341	1.0044	0.9815
195	1.0756	1.0539	1.0319	1.0016	0.9797
190	1.0717	1.0510	1.0295	0.9996	0.9779
185	1.0682	1.0482	1.0269	0.9976	0.9760
180	1.0658	1.0447	1.0244	0.9957	0.9746
175	1.0618	1.0419	1.0228	0.9937	0.9721
170	1.0590	1.0390	1.0198	0.9917	0.9682
165	1.0556	1.0368	1.0177	0.9887	0.9579
160	1.0528	1.0337	1.0145	0.9858	0.9380
155	1.0505	1.0312	1.0126	0.9860	0.9299
150	1.0472	1.0287	1.0079	0.9503	0.9264
145	1.0437	1.0246	0.9851	0.9401	0.9231
140	1.0380	1.0054	0.9605	0.9369	0.9208
135	1.0211	0.9770	0.9548	0.9337	0.9184
130	0.9919	0.9640	0.9509	0.9308	0.9167
125	0.9724	0.9587	0.9468	0.9282	0.9140
120	0.9655	0.9548	0.9440	0.9259	0.9127
115	0.9622	0.9506	0.9408	0.9239	0.9103
110	0.9580	0.9475	0.9378	0.9219	0.9085
105	0.9549	0.9454	0.9356	0.9199	0.9071
100	0.9520	0.9421	0.9329	0.9179	0.9057
95	0.9499	0.9404	0.9307	0.9160	0.9042
90	0.9464	0.9372	0.9288	0.9143	0.9028
85	0.9442	0.9348	0.9272	0.9129	0.9011
80	0.9414	0.9326	0.9246	0.9115	0.8990
75	0.9392	0.9307	0.9221	0.9099	0.8985
70	0.9370	0.9285	0.9199	0.9082	0.8972
65	0.9356	0.9269	0.9182	0.9071	0.8957
60	0.9337	0.9254	0.9169	0.9049	0.8946
55	0.9313	0.9235	0.9156	0.9038	0.8935
50	0.9300	0.9216	0.9140	0.9024	0.8926
45	0.9279	0.9197	0.9124	0.9010	0.8908
40	0.9257	0.9181	0.9105	0.8997	0.8894

この材料は自動車のラジエータに最も一般的に使用される材料であることから、自社の優位性を確保するために、材料メーカーに改良を指示して調達している。

そして、この材料データは、川下企業より入手済みであるが、このデータを、モールドフロー解析に使用することはできないので、モールドフロー解析用のデータを入力する必要がある。

(4) 実成形とバーチャル成形（解析）の比較検証

成形とバーチャル成形（解析）の比較検証の状況は以下のとおりである。



メーカー：プライムポリマー

メーカー：Asahi Kasei Plastics North America Inc

グレード：GH455R

グレード：Thermylene P6-25FG-0687 BK711

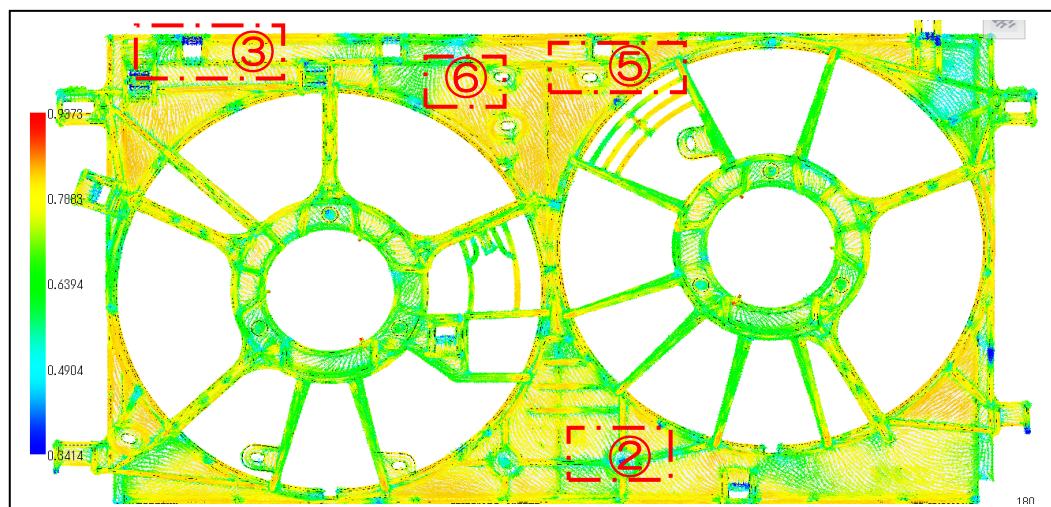
実成形とバーチャル成形（解析）のソリの差異を確認した。

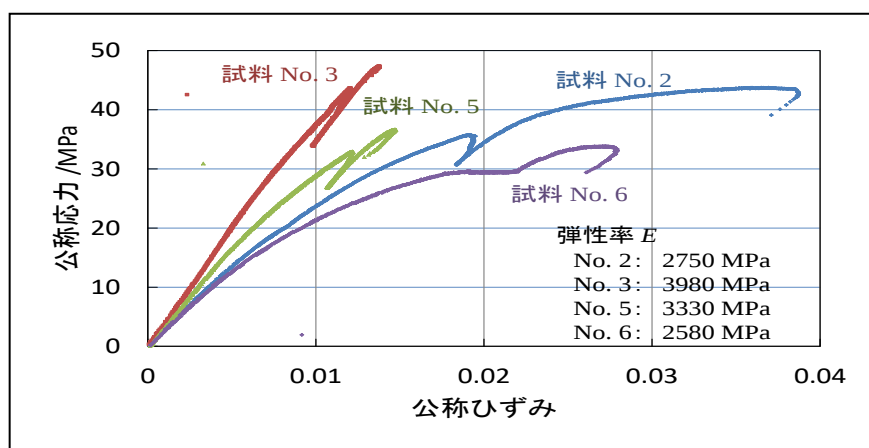
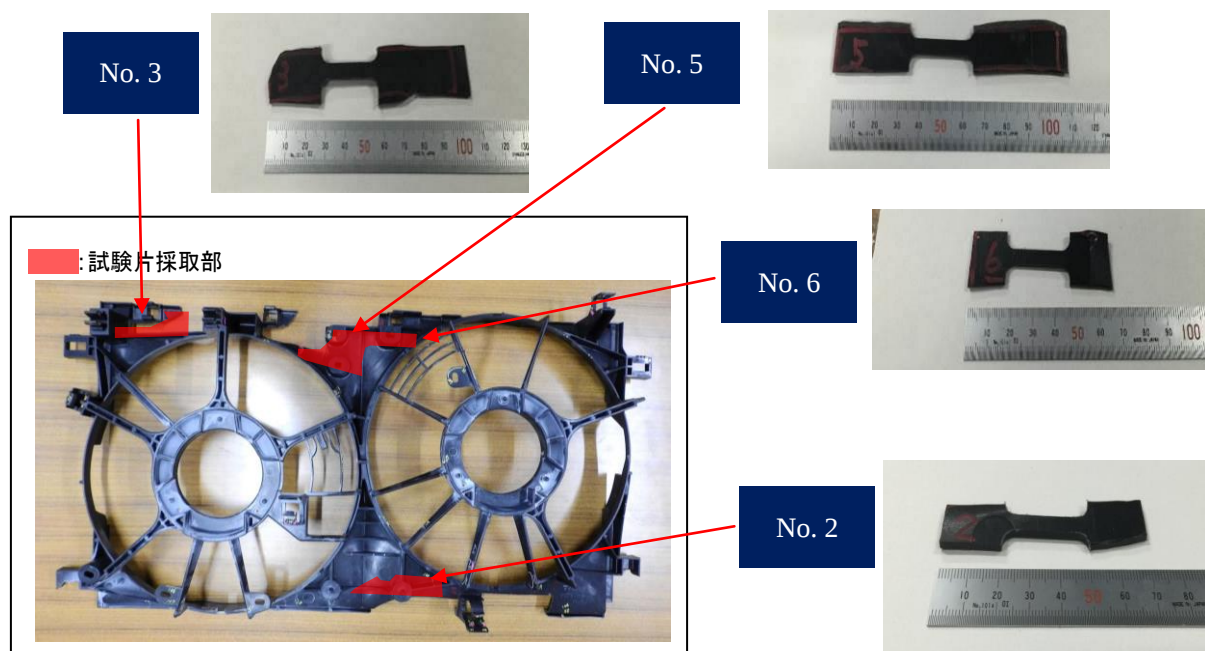
実成形材データでの解析実施と実成形の比較検証が必要である。

(5) 材料試験

繊維配向（mold flow）による解析箇所

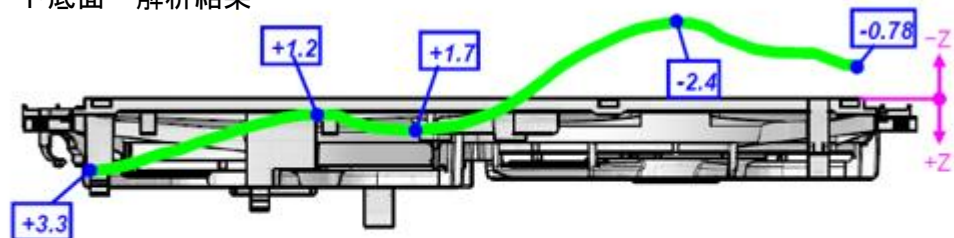
成形品から試験片（下記2. 3. 5. 6）を切出し、引張試験を実施した。



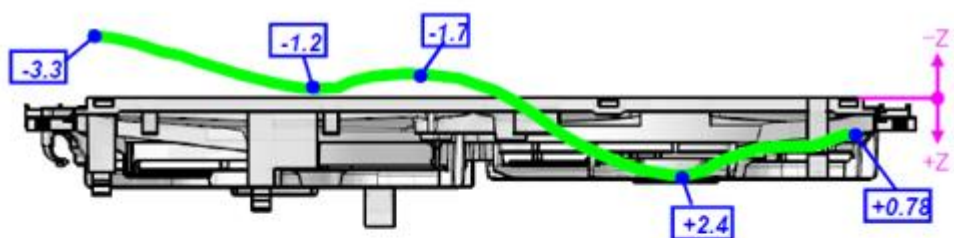


(6) ソリ解析結果と型最終形状・成形品最終形状分析

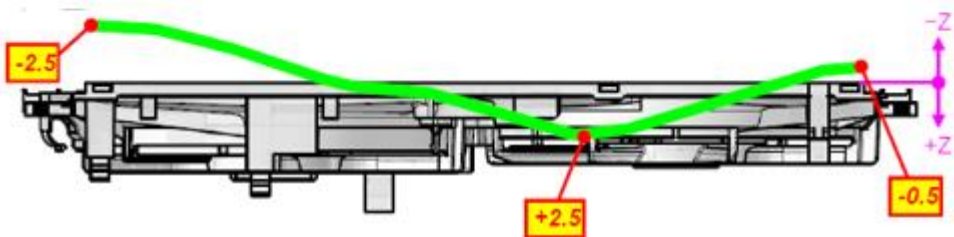
①スカート底面 解析結果



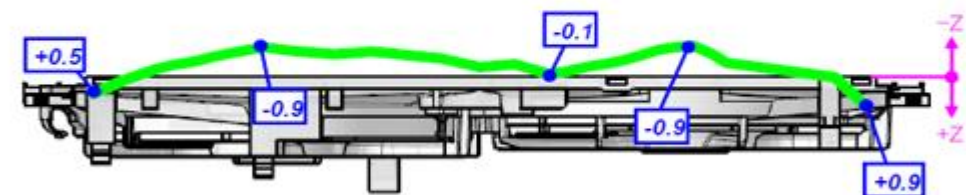
②100% 反転データ



③70% 実金型最終形状

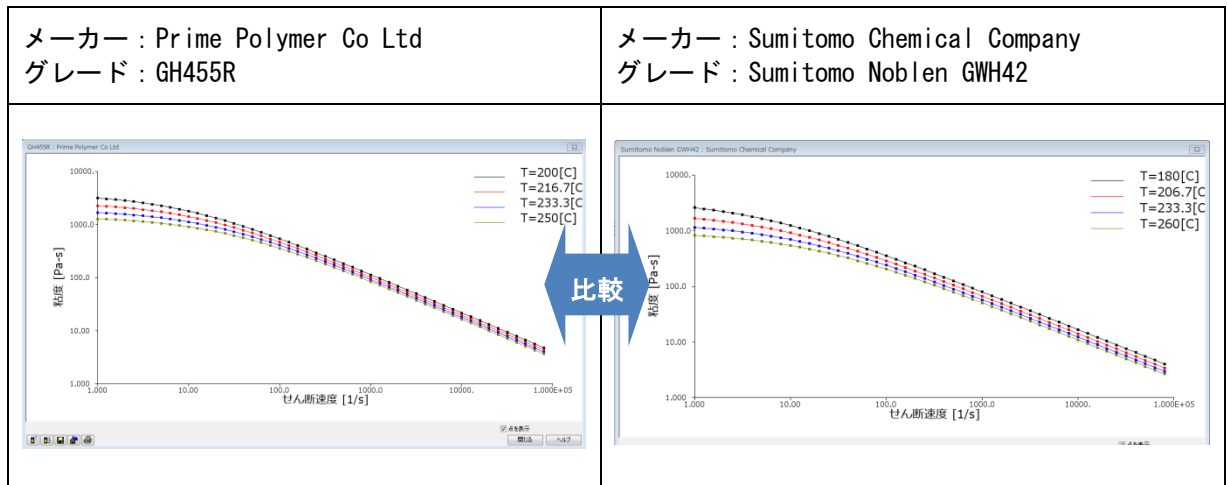


④実成形最終形状



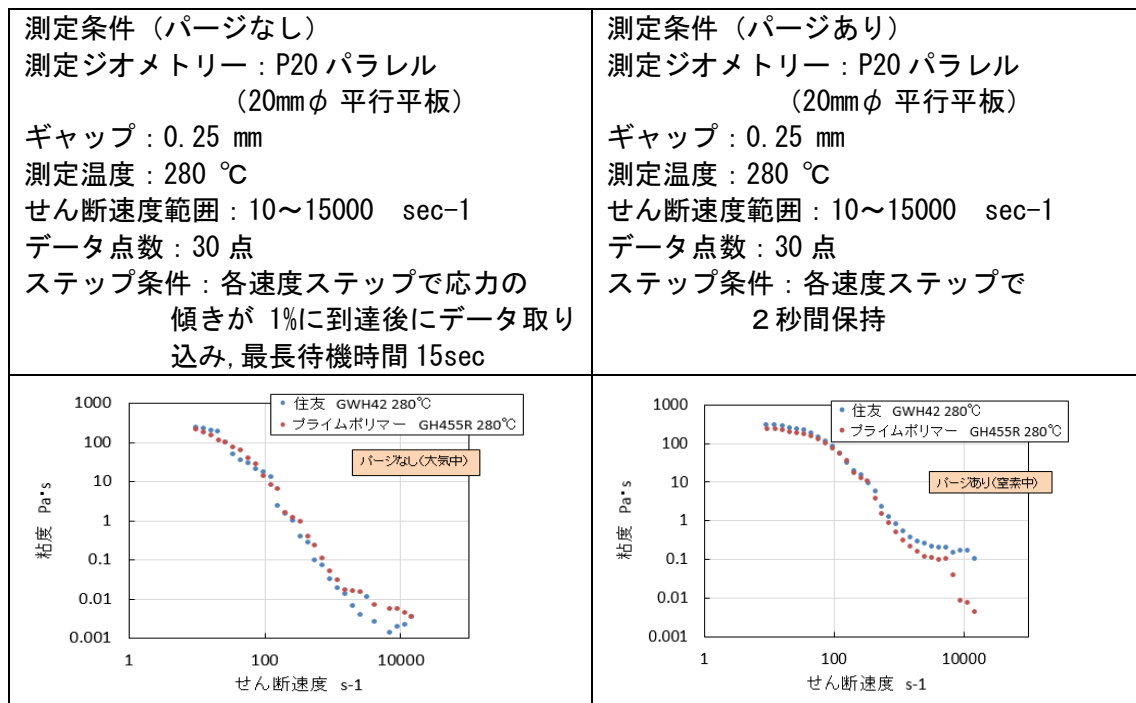
上図より、②図のハラシ量は、①図の解析結果の反転した値を与えたとしても、
④図の合格品とはならないことが理解できる。

(7) PP-GF25実成形材 vs 代替材 解析用データ物性値（粘度拔粋）比較

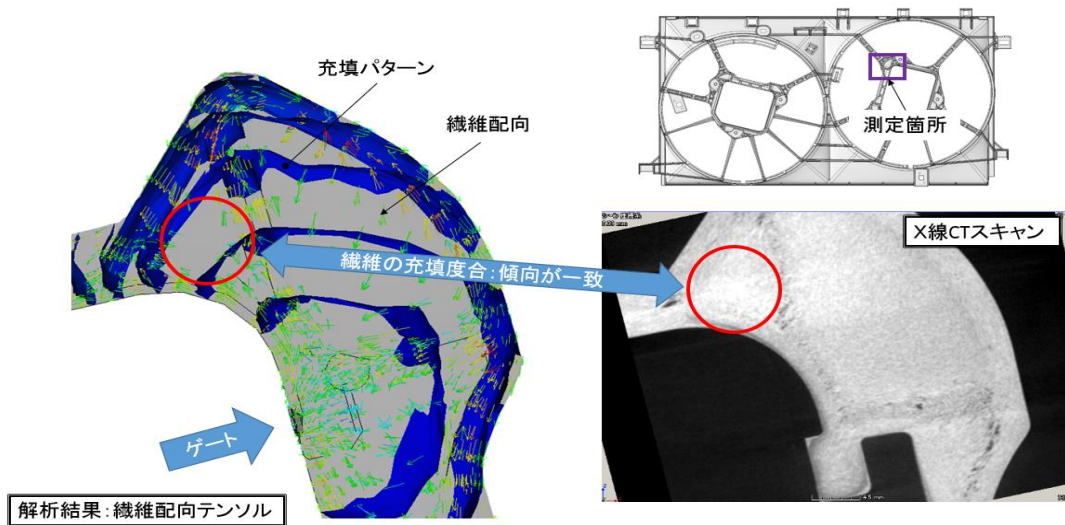


比較した結果、ばらつきが見られ、実成形材での解析用データ物性値の必要性が理解できる

(8) PP-GF25実成形材 vs 代替材 物性データ実測値（粘度抜粋）

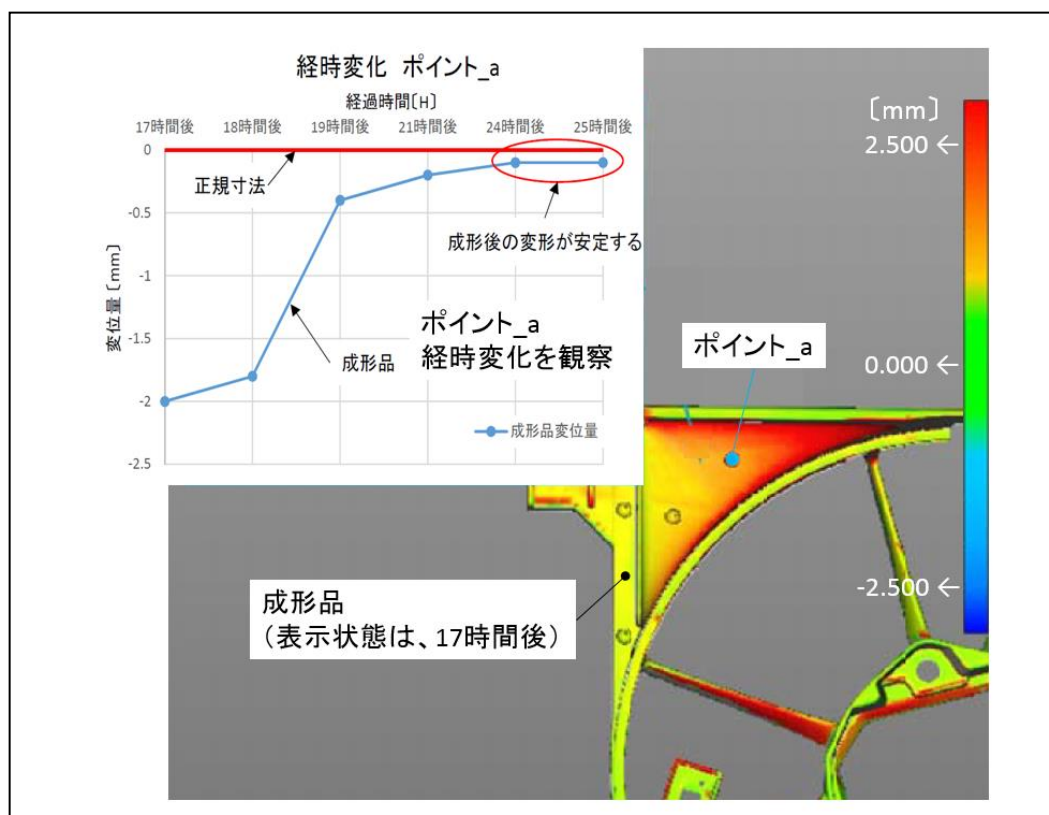


(9) X線CTによる繊維配向比較分析



繊維配向から見ても傾向が一致し、実成形材での解析用データ物性値の必要性が理解できる。

(10) 3Dカメラを使用した定点観測、経時変化



ソリに対する評価該当部位の定点観測を行った。例として経時変化の様子を上図に示す。
経過時間に伴い、正規寸法に近づいていくことが理解できる。

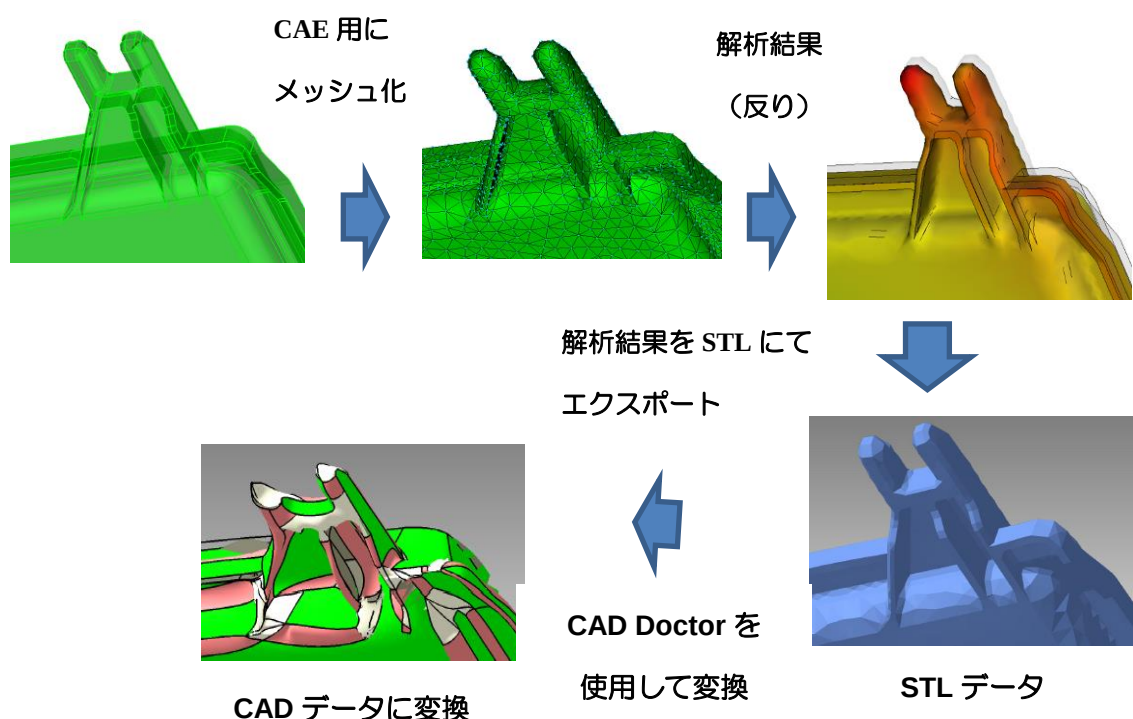
1-2 点群からハラシモデルの設計CADデータへの変換技術の確立

逆ソリ金型用CAD成形モデル（通称：ハラシモデル）は、金型製作には不可欠である。そのため、ハラシモデル作成に当たっては、CAE及びSTL点群データ（非接触3次元デジタイザーによるリバースエンジニアリング）等との擦り合せ技術の確立により実現するが、射出成形用金型分野においては、STL点群データは、「アンダーカット形状」や「陵線が明確でない」「データ上に隙間が存在する」などの修正課題が有り、そのままでは金型モデルには使えない状況である。

以上から、最適ハラシ量を測定しながら、このデータ修正・埋める作業分野でブレークスルー技術確立を通じてハラシモデリングを構築する必要があるため、測定した最適ハラシ量に基づく、ソリを見越した金型設計を円滑に実施するために、3次元測定システム及び金型ソリ修正システムを活用して、ハラシモデリングの適正化を進めた。

（1）CADデータへの変換技術の検証

CAD Doctorを使用したCADデータへの変換を実施した。

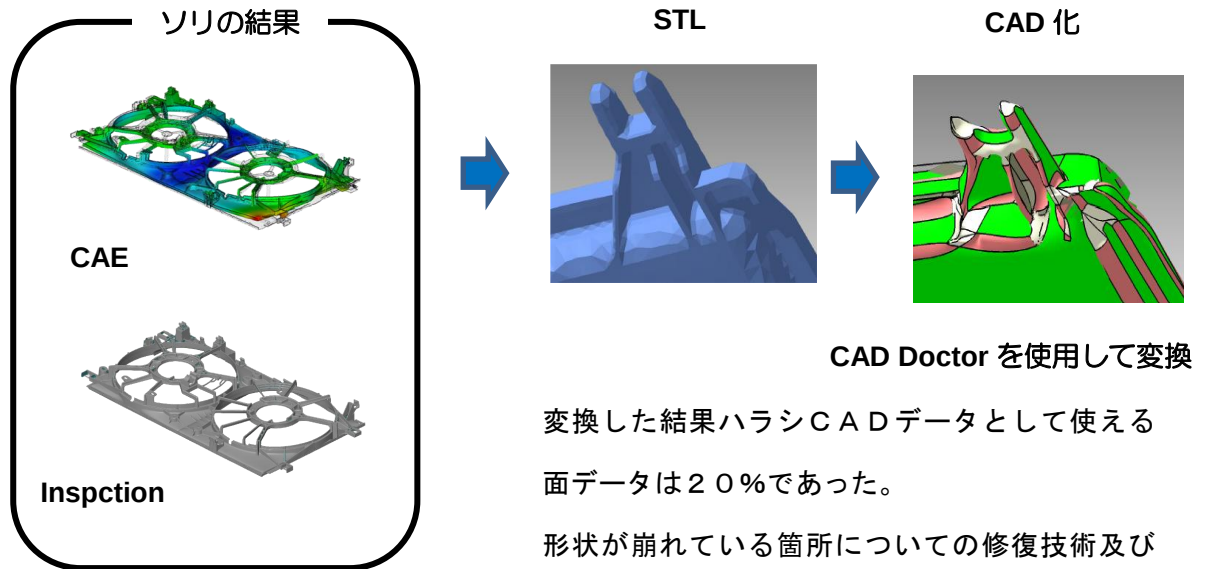


現状のCADデータによる変換状況は、上記のとおりである。

これから明らかなように、形状が崩れることから、ハラシモデルにそのまま適用することは困難である。

(2) CADデータへの変換技術の検証

CAD Doctorを使用してCADデータへの変換を実施した。



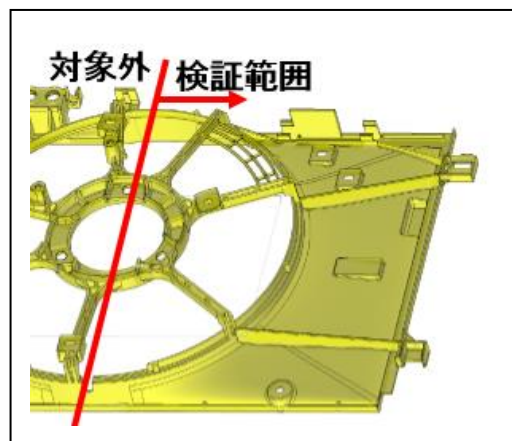
(3) CAE及びSTL点群データ等、CADデータへの変換技術

CAD doctorの形状変形機能を用いたハラシモデル作成を検証

(リバースエンジニアリング)

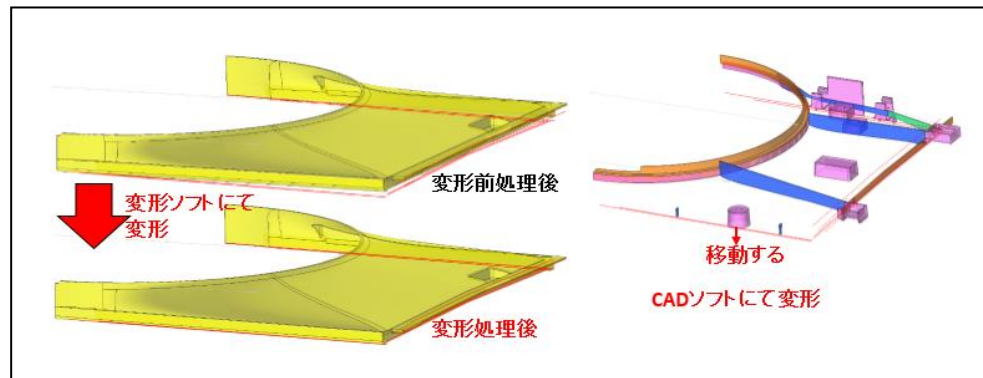
対象：シングル_シュラウド_試作モデル

- ・ 検証範囲を限定した。(試行の為)
- ・ 変形量は適正化されたハラシ量とする。
- ・ 収縮率は考慮しない。(拡張しない)



CADdoctorの形状変形機能を活用して、変形前処理にて分離したスカート形状だけの変形を行った。

他の分離してある各パーツは、CADソフトにより個別に設定された変形量となるよう配置するとともに形状の調整を行った。



CADdoctorを使用時の変換技術（リバースエンジニアリング）については、シングルシュラウドにより実証し、その検証結果からツインシュラウドにおいても変換技術については問題なしと判断できた。

課題は、量産金型においての変換に係る時間短縮が課題である。

2 ハラシモデルを実現する金型設計・加工技術の確立

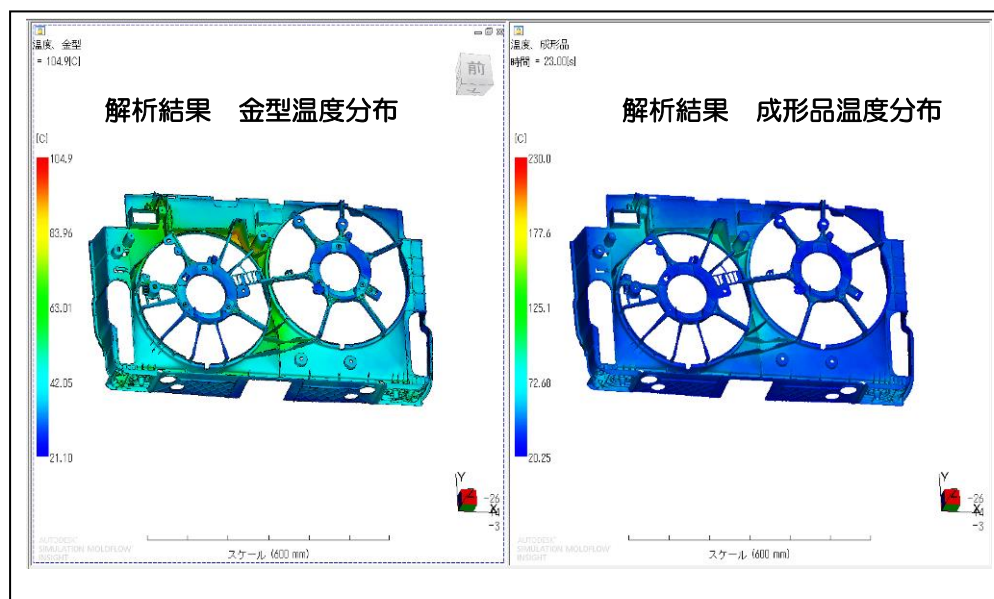
噴水利用による製品形状にトレースした回路により多軸冷却構造の解析を行い、金型と成形品の温度分布調査で、温度ムラによる成形品のソリを確認しながら最適多軸冷却構造の検証を行った。

そして、材料試験結果をソリ解析に用いるとともに、テストピースに対する測定及び成形直後の測定結果を金型設計にフィードバックするとともに、冷却回路（冷却管路）を必要とされる精度を維持しながら加工し、その熱伝導と熱伝達を、解析結果とテストピース製作により比較検証を行った。

2-1 金型設計技術の確立について

ソリ要因の一つである『冷却性』は、金型温度の不均一さに起因する。現状における冷却構造の設計は、コストメリット等の観点から、金型加工を1～2軸による加工を基本とした構造設計としているため、不均一さが生じて、それによりソリ等の変形が発生している。

均一な冷却を図るためには、金型表面に対して温度調整を可能とする3軸を意識した冷却回路の設定加工が必要とされ、適正冷却を実現するために、製品形状にトレースした冷却回路設定を図る必要があることから、金型設計においては、『多軸冷却構造』を有する金型構造の設計技術の確立がポイントとなる。設計技術確立に必要な金型及び成形品の温度分布の解析を行った結果は下記の状況であった。



ソリ要因の一つである『冷却性』は、金型温度の不均一さに起因することから、金型と成形品の温度分布調査を実施し、その測定結果を金型設計にフィードバックした。

2-2 金型加工技術の確立について

CAE解析結果を基に、金型の設計指針を構築し、最適『多軸冷却構造』の加工に際しては、製品形状にトレースした冷却回路を実現する必要がある。そして、金型の長寿命化や加工工数削減を図るため、段取りの考案やツールパスを含めた加工方法が求められるとともに、冷却水の乱流、層流を制御するために冷却回路の高面粗度を実現する加工技術の確立も必要である。

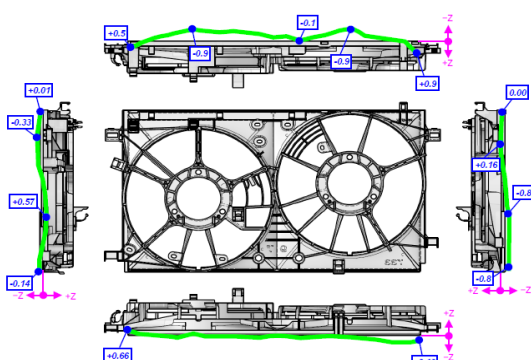
また、冷却回路に関しては、噴水利用による製品形状にトレースした回路により多軸冷却構造の解析を行い、材料試験結果をソリ解析に用いるとともに、テストピースに対する測定及び成形直後の測定結果を金型設計にフィードバックした。

(1) 噴水利用による製品形状にトレースした多軸冷却構造回路の検討

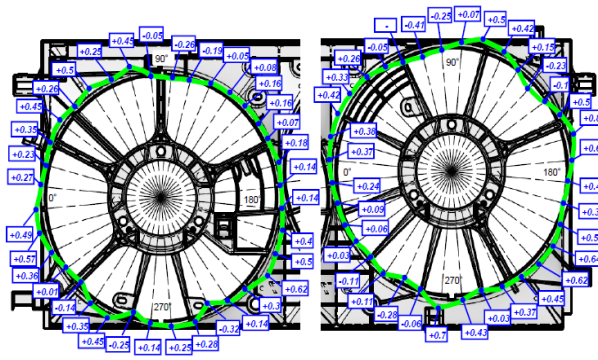
前項の金型と成形品の温度分布調査をもとに、温度分布のバラツキの均一化を目指して、加工性・コストを考慮しながら、冷却回路の設計検討を繰り返し最適多軸冷却回路を構築した。

(2) ハラシ対象部位と寸法精度の検証

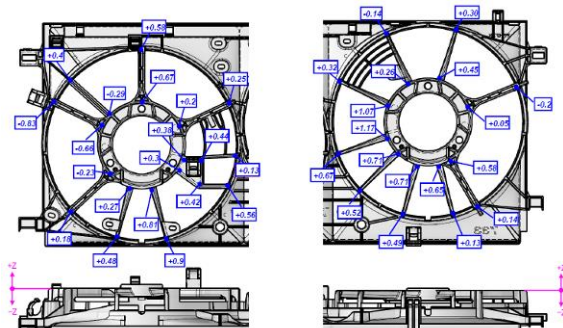
- ① スカート底面ソリ---寸法精度： ± 1.5



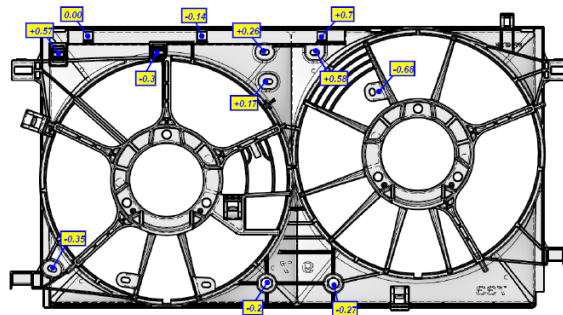
- ② リング径ソリ一寸法精度：±1.5



- ③ モータ高さソリ---寸法精度：±1.0



- ④ その他の取付面高さソリ---寸法精度：±1.0

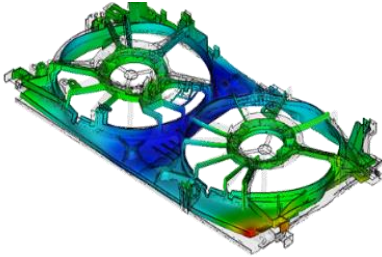


シュラウド製品の主要評価項目（上記４項目）に対する、最適ハラシモデルの成形品寸法は上図のとおりである。

(3) 逆ソリ金型モデルの検証

解析結果からする“逆ソリ金型モデル”についての状況。

【反り結果】

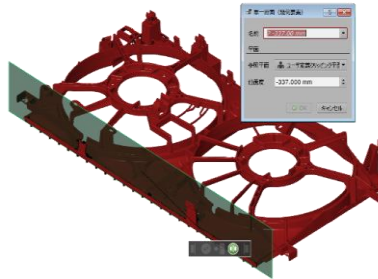
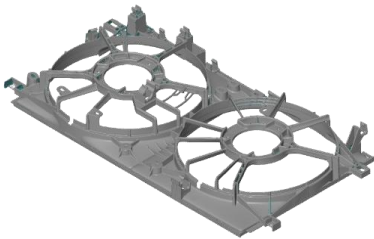


Autodesk Moldflow 2016 により、反り結果の反対形状を“STEP 形式”でエクスポートが可能である。



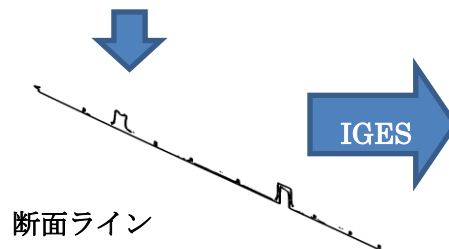
しかし、収縮を含んだ反転形状がエクスポートされてしまうので、この点の対応が必要となることが判明した。

デジタイザーからの“逆ソリ金型モデル”についての状況。



非接触 3 次元デジタイザにて得られたデータから断面ラインを取得し、エクスポート (IGES) する。

【デジタイザー】の状況

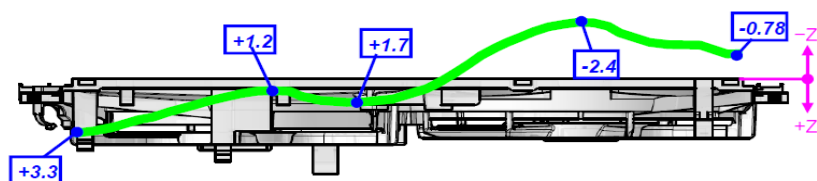


CAD で反転する手段しかないため点群データの有効活用がポイントとなる。

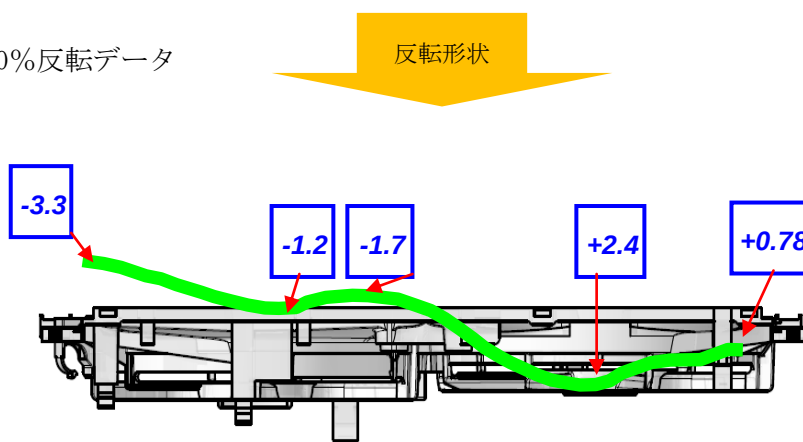
(4) モデル解析結果と型最終形状・成形品最終形状の検証

・ 解析結果

① スカート底面 解析結果

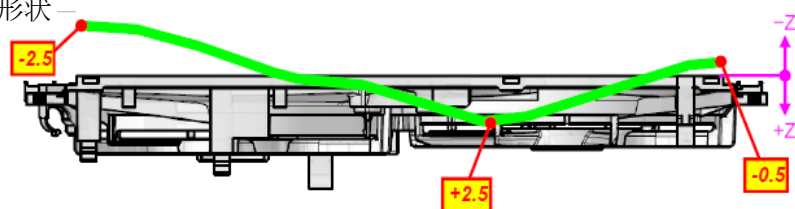


② 100%反転データ

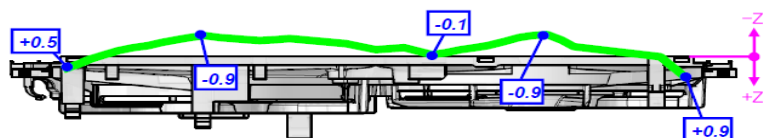


・ 実金型・実成形の状況

③ 実金型最終形状

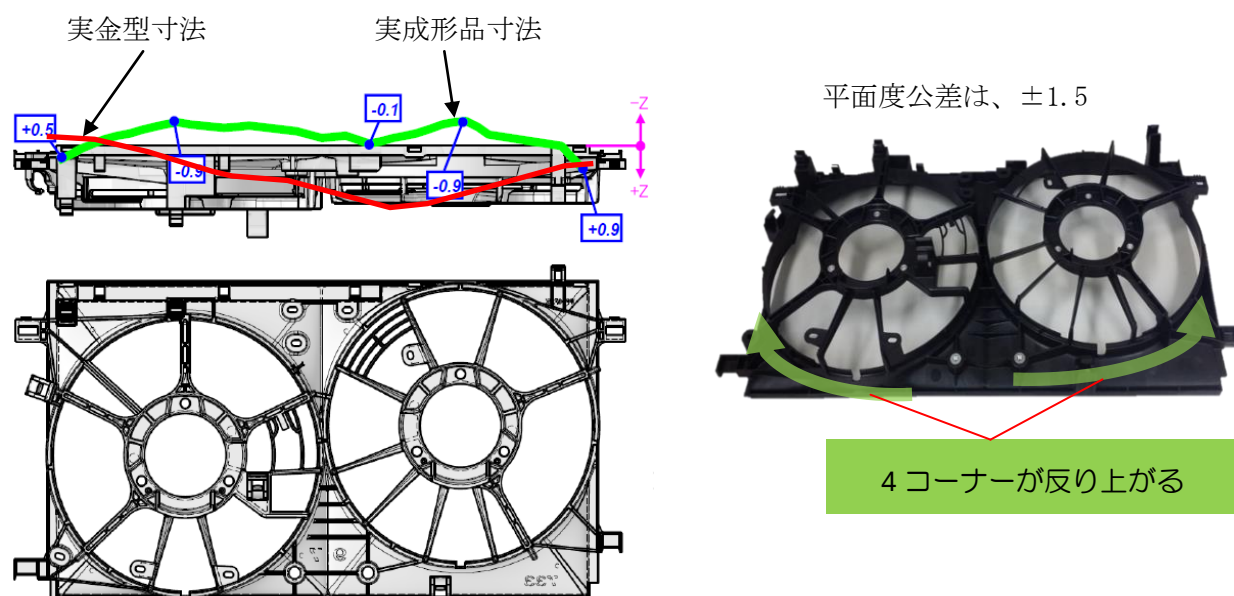


④ 実成形最終形状

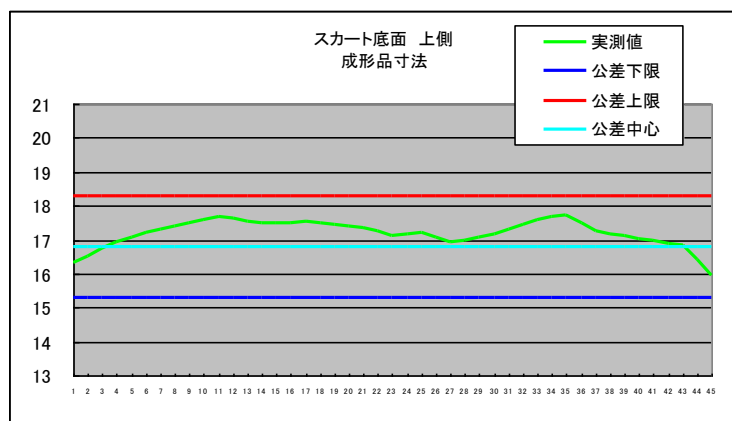


上図より、②図のハラシ量は、①図の解析結果の反転した値を与えたとしても、
④図の合格品とはならないことが判断される。

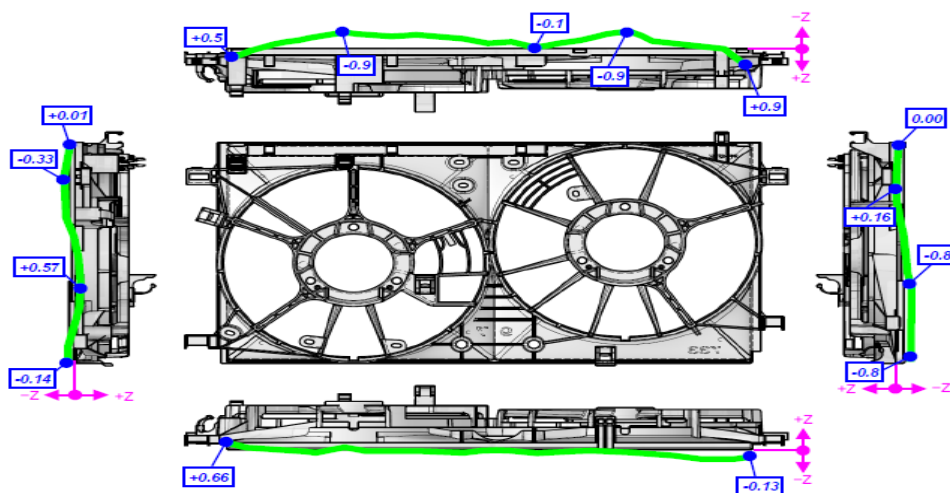
(5) ハラシ対象部位と寸法精度（底面の平面度）の検証



実金型寸法と実際の成形品の寸法は、上記のように大きく異なっている状況である。
 そのため、ハラシ寸法を実金型寸法に導くことが出来れば、実成形品寸法は下図のグラフに表すように許容範囲になり合格になる。

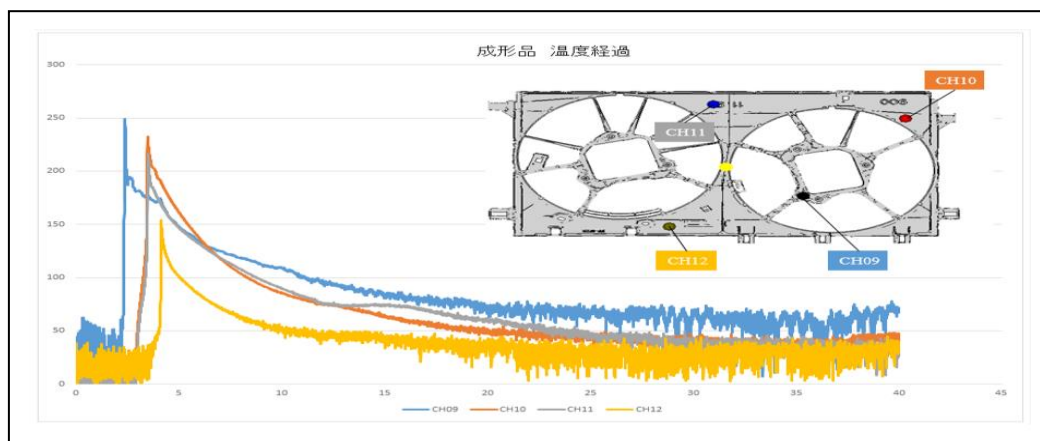


(6) ハラシ対象部位の最終成形品寸法



(7) 解析結果と実成形の比較による『多軸冷却構造』の加工精度の妥当性検証

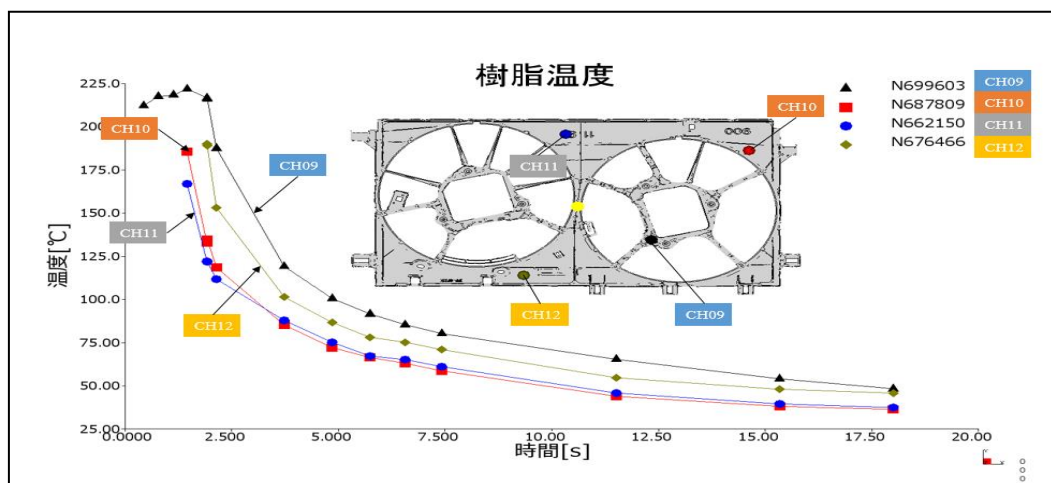
＜温度センサーによる成形品温度のモニタリング結果＞



傾向は一致している。

＜解析結果＞

冷却回路の加工精度は妥当である。



冷却回路の加工精度を図るための手段として金型部品自体の測定検査の他に、その加工精度自体の有効性を検証するとともに、その精度で加工された冷却回路が有効的に機能していることを、解析結果と実成形により比較した。

解析結果と実成形の差はあるものの、上グラフに示すように再現できたことから『多軸冷却構造』の加工精度が妥当であると評価した。

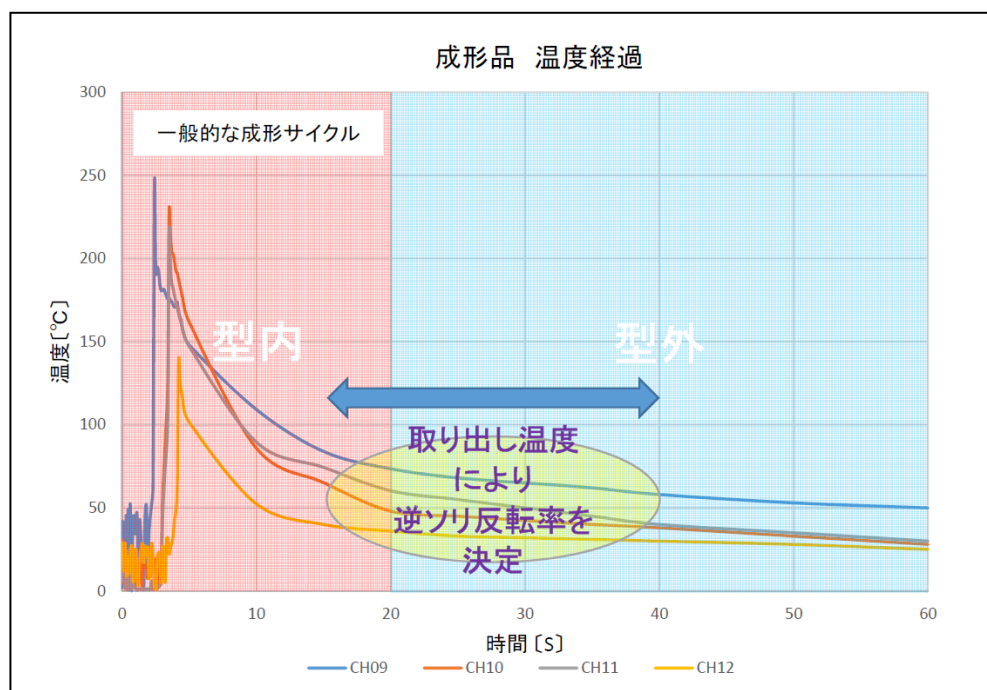
3 ハラシモデルによる金型の評価

ハラシモデリング及び実証金型における多軸冷却構造の評価を、実証用金型による成形トライを行い、成形製品の評価を導入する3Dデジタルカメラ等を活用して実施した。

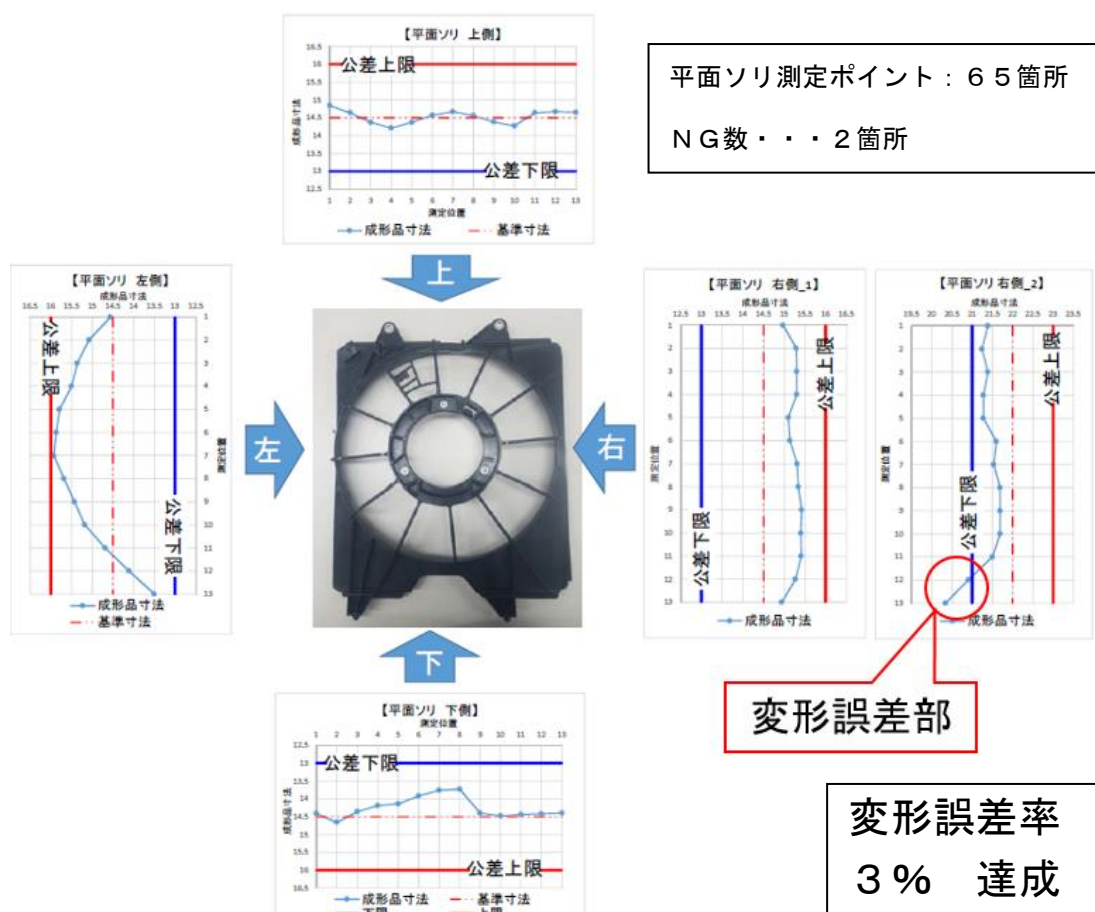
そして、これらの評価結果を金型にフィードバックして、ハラシモデリング技術の確立を図ったが、評価に関しては、試作成形した製品の ①ソリ等の変形の計測を、データを重ね合わせて判別評価、 ②CAE解析結果からの逆ソリ等の寸法を決定、 ③最適ハラシ量は、逆ソリ寸法を実証金型に加工し、実成形に拠る成形品の有効性確認といった項目での評価を行い、その結果をフィードバックして、ハラシモデリングに反映出来るリバースエンジニアリング技術を確立したところである。

(1) 変形誤差率 5%以下を可能とする逆ソリ反転率の確立

これまでの解析結果と実成形の比較検証から成形品の取り出し温度により、逆ソリ反転率を変えながら、実証金型に適用した。



最適化された反転率を適用した実証金型での成形品評価を行った結果、変形誤差率 3 % 達成することができた。



確立された逆ソリ反転率により変形誤差率 5 % 以下を達成できた理由としては、実成形を再現できる冷却解析が可能となったことが理由として挙げられる。

冷却解析は、実成形を再現できる解析であることから、逆ソリ反転率の予測可能となった結果に基づくものである。

ただ、冷却回路の設計検討と解析を繰り返すことから、今後は、これをコンカレント化することが課題としてある。

（２）変形誤差率 5%以下を可能とするフィードバック技術の確立

ハラシモデルによる金型の評価から確立された技術

実証金型のフィードバック技術－１

成形直後からの変形挙動の観察と、実証用金型による成形トライでの成形品に係る精度等の評価を円滑に実施するために、以下のような固定治具を考案し、成形品の測定時間短縮と点群データ品質向上を図った。

（３Ｄデジタルカメラ測定）

３Ｄデジタルカメラ撮影の様子と成形品測定用 固定治具



実証金型のフィードバック技術－２

実証用金型による成形トライを行い、成形した製品に係る精度等の評価結果を基に、実証用金型へフィードバックさせる方法（実証用金型の修正）について

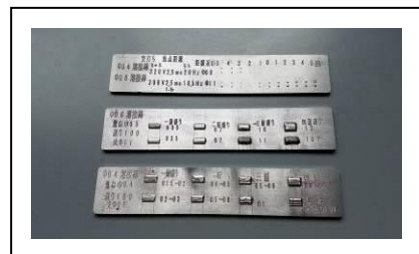
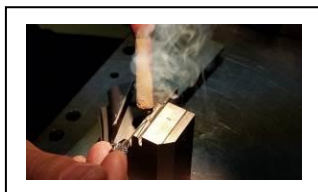
- ・ 金型部品を新規製作する。
- ・ 金型部品を切削加工にて再加工を実施する。
- ・ 金型部品をレーザー溶接機にて溶接後、切削加工を実施する。

などが必要であることから、ＰＤＣＡを早く展開するために、自動テーブル送り装置を開発製作するとともに、レーザー溶接の最適条件を見出し検証しながら確立させた。

レーザー溶接機の自動テーブル送り装置



レーザー溶接機の溶接条件標本



最終章 全体総括

1 研究開発の成果

(1) 解析予測変形量（狙い寸法）については

- ・材料メーカーから入手した解析用物性データとその材料を実測した物性データの比較や解析の実施結果と実成形品から採取した試験片の引張り・曲げ試験・X線CTスキャンとの比較及び成形品の内部応力や繊維配向などによる変形挙動の分析結果によるデータと
- ・実証金型により成形した製品にかかる定点観測・経時変化・24時間経過後の測定データを

比較評価することで、逆ソリ数値の精度向上を図った。

(2) 多軸冷却構造の確立に関しては

金型温度一定下での簡易的な解析結果からソリを解消できる冷却回路を考案して対応し、その有効性を実現するために、実証用金型の冷却管内の面粗さ・加工精度・加工プロセスを確立し、解析パラメータ内の精度で一致させた。

そして、解析結果と実成形の比較検証を行うために、実証用金型内に温度センサーを組み込み、金型温度・樹脂温度のモニタリングで比較検証し、加工精度の妥当性を確認したところである。

(3) 金型の評価に関しては

実証用金型による成形トライを行い、成形品に係る精度等の評価を行って、精度のよい変形予測ハラシモデルの作製技術の確立を図った。

- ・ソリ等の変形の計測を、データを重ね合わせて判別評価
- ・CAE解析結果からの逆ソリ等の寸法を決定
- ・逆ソリ寸法を実証金型に加工し、実成形に拠る成形品の有効性確認

これらの評価結果をフィードバックして、最適ハラシ量の確立とハラシモデリングに反映出来るリバースエンジニアリング技術を確立した。

これらの本研究会開発を通じて、最大の目標値である

解析予測変形量と実際の成形製品での変形誤差率の目標値である5%を大きく上回る3%を達成することができた。

2 研究開発後の課題

本研究開発により、自動車用熱交換器用のシュラウドファンのソリ変形の大きい部位に的を絞って研究開発を行い目標は達成できた。

これから具体的な事業化に当たっては、シュラウドファン以外の金型へと展開する計画があるので、この実現に際しては次の項目に対する対応も必要となることから、補完研究を通じて解決する計画である。

- ① 誤差率をゼロとするために、解析と実成形が同一になるように成形シミュレーションの高精度化にかかる項目。
- ② シュラウドファンにかかるソリ変形対応の金型システムに関しては研究開発により解決したが、これ以外の金型（ケースヒーター、ドアミラー用金型等）や次世代シュラウド（複雑化）にも適用する成形シミュレーションの確立についての項目。
- ③ EV車など次世代の成形品（金型）への最適化を実施し、その適合性に対する項目。
- ④ 射出成形のハイサイクル化にかかる研究成果の解析精度の検証。

3 事業化展開について

(1) 想定する国内、海外市場(現状、今後の動向)

本事業で確立する金型技術は、自動車用のラジエータ ASSY 及びケースヒーター用金型として事業化する計画である。

主力金型であるラジエータの動向であるが、使用されるハイブリッド自動車では、エンジンとバッテリーの組み合わせで低燃費を高効率の状態で行わせるため、発熱を伴う「インバータ」と「ジェネレータ（発電機兼モータ）」と「モータ」の冷却も必要となり、エンジン系統とハイブリッド系統を一つの「ラジエータ」で複合機能を持たせた特殊な構造になっている。

今後も複雑形状に進化することが予想されるが、このラジエータが使用されるハイブリッド自動車の動向は、次世代自動車振興センター及び自動車部品工業会の資料によれば、その生産台数及び販売台数は以下のとおりであり、年々増加傾向にあるのが現状である。

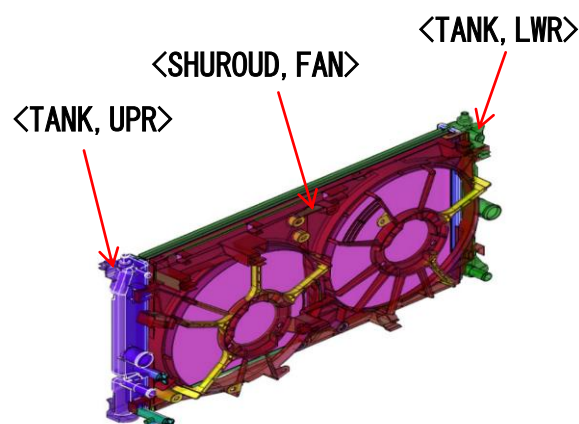
(出荷額：百万円)

区 分	H. 21 年	H. 22 年	H. 23 年	H. 24 年	H. 25 年
普通車生産台数	676, 022	617, 061	717, 374	813, 030	
普通車販売台数	452, 098	447, 626	633, 417	854, 904	1, 011, 081
ラジエータ出荷額	123, 953	127, 217	130, 186	126, 440	136, 440

以上のように、自動車の生産台数及びラジエータ出荷額とも増加していることから、これにかかる金型に関しても、ハイブリッド車の需要の拡大とともに、今後十分期待できるところである。

(2) 川下企業(顧客)ニーズ

川下事業者である自動車産業では、CO²排出量の削減が社会的な課題となり、中でも自動車の燃費向上は社会的な責務となっていることから、従来金属製造であったラジエータPタンク、ファン及びファンシュラウドに関しても樹脂化されている状況である。しかし、ラジエータが樹脂化され、その形状も複雑化・一体化成形化されるに伴い、ソリ等の変形が生じて、コスト高となっていることから、この対応が課題となってきている。

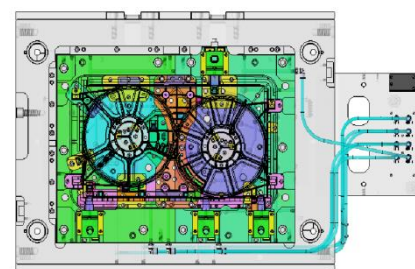


ラジエータ ASSY

また、国内での自動車生産台数が減少傾向になることから、海外市場への展開も視野に置く必要があるため、需要動向の把握と定期的なニーズ調査を実施している。

(3) 販売促進戦略

当社で開発するラジエータ用及びケースヒーター用金型の特徴は、複雑な形状を、金型内に組み込まれたからくりにより成立させるとともに、樹脂の変形を逆手に取った変形により製品をつくる金型である。



右図の金型の場合、H900 x W1530 x T720 と大型である。大型金型に係る補正・修正等の費用低減が可能となることから、この金型に係る競争力は十分ある。

販売に関しては、以下により実施の予定である。

- ① 第一ステップとしては、アドバイザーである(株)デンソーに出荷しながら、評価を受ける計画であり、その評価をフィードバックしながら、金型の生産体制の構築を進める。
- ② 第二ステップとしては、ラジエータやケースヒーター以外の大型用金型としての拡販である。

具体的にはドアミラー等であり、アメリカ市場への展開を計画している。

また、これと同時並行で、自動車以外への展開を図るために、展示会、イベントへの出展展示を予定するとともに、インターネットでのPRを通じての販路拡大を図る計画である。

また、金型に加えて、新たなビジネス展開として、確立したハラシモデリングシステムについて、外部ソフトウェアメーカーとの共同開発等も踏まえ、検討の予定である。