

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「多品種、小ロット生産に対応した多層ブロー成形を効率的に
行えるハイブリッド構造のダイヘッドの開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成24年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人 岐阜県産業経済振興センター

目 次

第1章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	2
1-3	成果概要	6
1-4	当該研究開発の連絡窓口	6
第2章	ダイヘッドの開発	7
2-1	数値解析と構造設計	7
2-2	成形機の検証実験	12
2-3	成形品の解析	15
第3章	省エネルギー型押出機の開発	17
3-1	数値解析と設計	17
3-2	検証実験	18
第4章	滞留劣化の少ない表面処理技術開発	20
4-1	ダイ表面コーティング材料の検討	20
4-2	押出テストによる検証	22
第5章	最終章	24

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

世界の自動車産業においては、低燃費技術競争が熾烈になっている。「自動車部品の軽量化」は戦略的に極めて重要な技術開発要素の一つとされており、プラスチック材料による金属材料代替は依然重要な課題である。

最近では、プラスチック材料及び成形技術の飛躍的な向上により、ブロー成形の技術を活用して燃料タンク等でプラスチック化が急速に進み、現状では燃料タンク等の約68%がポリエチレン系の成形品に替わってきている。

こうした中、今後、さらに金属材料からプラスチック材料への代替が進むためには、より高品質かつ低コストのプラスチック部品を成形する技術の確立が求められている。既存の多層ブロー成形技術では、材種、層の数が増えることに伴ってダイヘッドが巨大化して、当然ながら製作コストは高く、段取り替えに時間を要するとともにメンテナンス性の悪さが生産性向上の障害になっている。また、ダイヘッドに樹脂を流し込む押出機についても押出工程の発熱に起因するエネルギー効率の悪さや材料劣化、肉厚のバラツキによる強度不足、外観不良等の品質不安定さが課題となっている。

本研究開発では、ダイヘッドの小型軽量化と省エネ型押出機の開発によって上記課題を解決し、多層ブロー成形の高効率かつ高品質、低コスト化を図り自動車産業等の国際競争力向上に寄与するものである。

なお、本研究開発で開発するダイヘッドと押出機の技術的目標値は次のとおりである。

(ダイヘッドの技術的目標値)

	項目	技術目標値
1	軽量化	ヘッド重量を約 1/6~1/4 に低減 600kg を 100kg に低減 (モデル機) 実機では、24t を 6t に低減
2	小型化	サイズを約 1/2 に縮小。径 400φ を 150φ に縮小(モデル機) 実機では、径 1,800φ を 700φ に縮小
2	樹脂替え時間	約 1/2 に短縮 (2 時間を 1 時間に短縮)
3	保繕、管理	ヘッド分解清掃を約 1/3 に短縮 (6 日を 2 日に短縮)
4	肉厚変動	約 1/2 に向上 (変動幅±10%を±5%とする)
5	製作費	約 1/2 に低減 (6 千万円を 3 千万円に低減)

(押出機の技術的目標値)

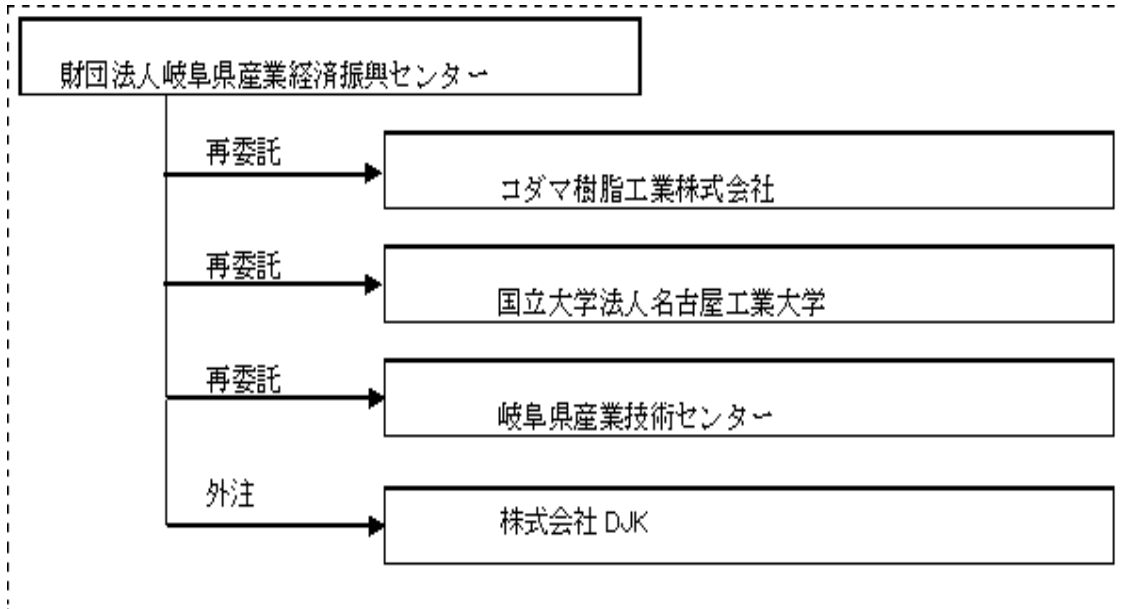
	項目	技術目標値
1	比エネルギー	約 30%低減 (0.3kWh/kg を 0.2kWh/kg に低減)

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)



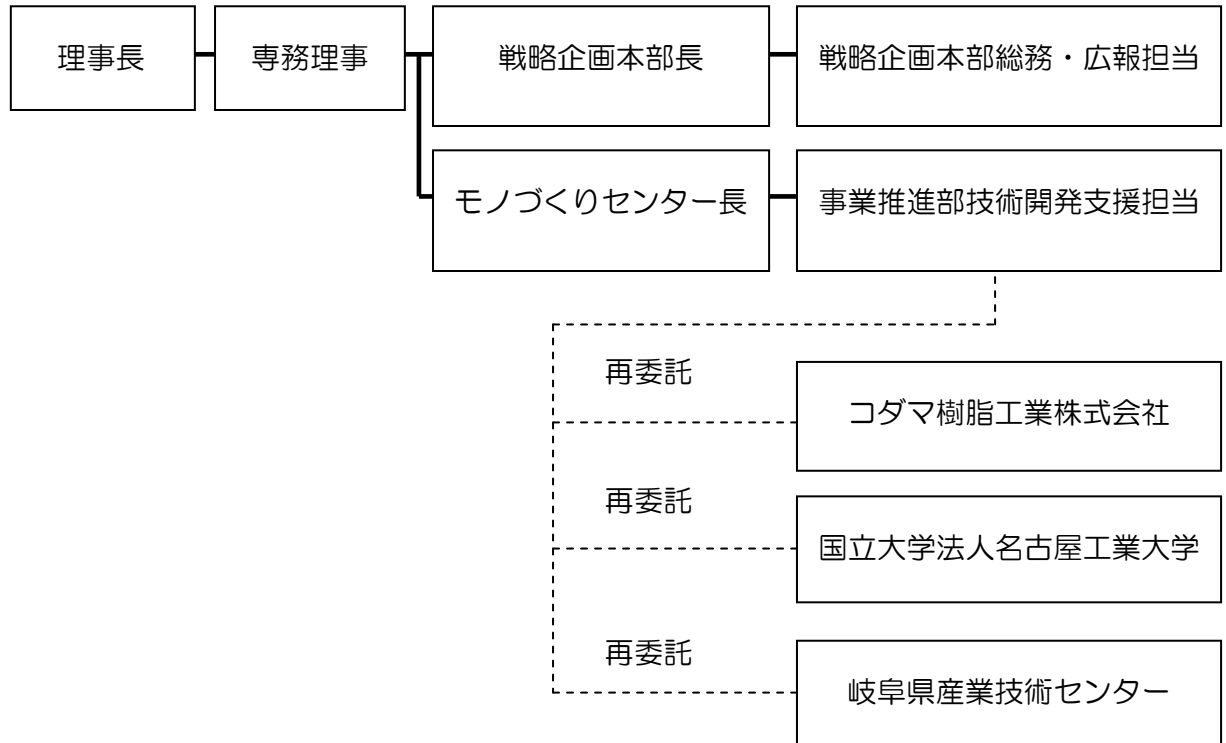
総括研究代表者 (PL)
所属: コダマ樹脂工業株式会社
役職: 開発管掌 執行役員
氏名: 春日 直温

副総括研究代表者 (SL)
所属: 国立大学法人名古屋工業大学
役職: 大学院 工学研究科 教授
氏名: 辻 俊博

2) 管理体制

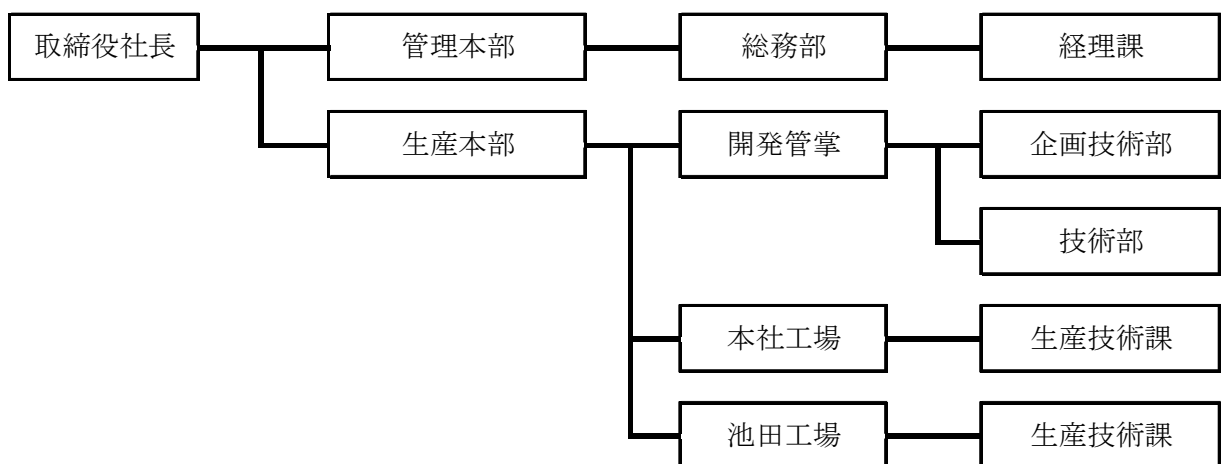
①事業管理者

[財団法人岐阜県産業経済振興センター]

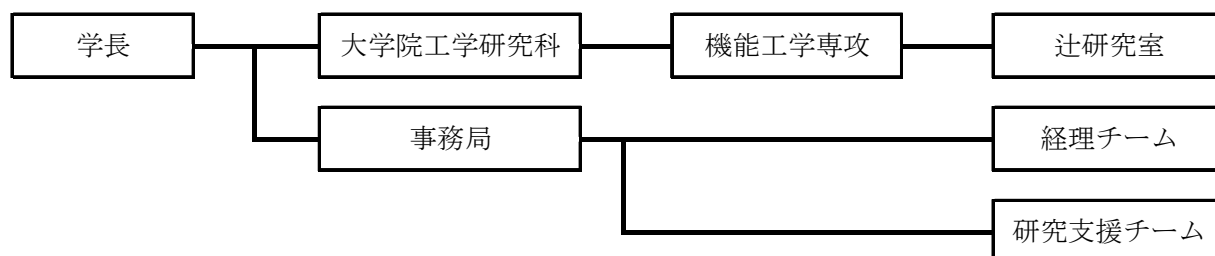


② (再委託先)

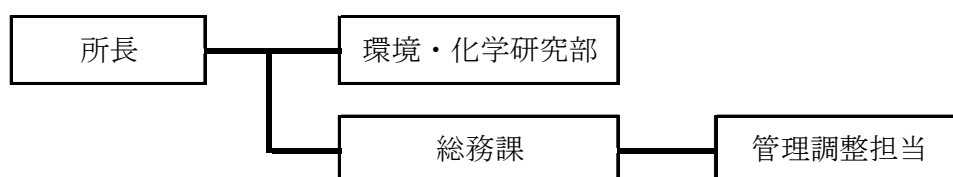
[コダマ樹脂工業株式会社]



[国立大学法人名古屋工業大学]



[岐阜県産業技術センター]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人岐阜県産業経済振興センター

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
石樽 芳直	理事兼モノづくりセンター長	プロジェクトの管理運営
宮田 直	事業推進部長	
小川 誠	事業推進部主査	
篠田 隆博	事業推進部主事	
瀬瀬 まゆみ	戦略企画本部 主任	

【再委託先】

②研究員

コダマ樹脂工業株式会社

氏名	所属・役職
春日直温	開発管掌 上席執行役員
小寺正史	企画技術部 係長
中村忍	企画技術部
大前和樹	本社工場 生産技術課 係長
有末博之	企画技術部 係長

国立大学法人 名古屋工業大学

氏名	所属・役職
辻 俊博	大学院 工学研究科 教授
永田 謙二	大学院 工学研究科 准教
飯田 雄章	大学院 工学研究科 准教

岐阜県産業技術センター

氏名	所属・役職
野村 貴徳	環境・化学研究部 専門研究員
丹羽 厚至	環境・化学研究部 研究員
長屋 喜八	環境・化学研究部 産業技術指導員

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人岐阜県産業経済振興センター

(経理担当者) 戦略企画本部主任 瀬瀬 まゆみ

(業務管理者) モノづくりセンター事業推進部主査 小川 誠

(再委託先)

コダマ樹脂工業株式会社

(経理担当者) 総務部長 河村 照夫

(業務管理者) 開発管掌 上席執行役員 春日 直温

国立大学法人名古屋工業大学

(経理担当者) 研究支援チーム マネージャー 山口 裕史

(業務管理者) 大学院工学研究科 教授 辻 俊博

岐阜県産業技術センター

(経理担当者) 総務課 主査 野村 隆稔

(業務管理者) 環境・化学研究部 部長 村田 明宏

(4) その他

なし

1-3 成果概要

本研究の主たるテーマは、「小型、軽量、高性能なダイヘッドの開発」と「省エネ型押出機の開発」である。それぞれの技術的目標値と達成値を本章1-1において示す。

技術的目標は、保繕、管理（ダイヘッドの分解清掃時間）を除いてすべて目標値に達することができた。保繕、管理についても従来6日要したものを2日に短縮できたのでかなりの改善はできたものとする。

また、数値には表れにくいですが、ダイヘッドの設計技術、スクリューの設計技術については、格段の進歩がみられた。肉厚変動を抑え、偏肉精度を上げる技術は、製品の高品質化のみならず、生産性の著しい向上を達成することができた。これにより、品質の改善と同時に、製品の製造原価を低減することができ、高品質で低コストの製品を生産できる可能性が高まった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人岐阜県産業経済振興センター

（最寄り駅：東海旅客鉄道株式会社 東海道本線 西岐阜駅）

〒500-8505 岐阜県岐阜市藪田南5丁目14番53号

担当 モノづくりセンター 事業推進部 小川 誠

TEL 058-277-1093 FAX 058-273-5961

E-mail gifu-sapoin@gpc-gifu.or.jp

第2章 ダイヘッドの開発

2-1 数値解析と構造設計

1) 溶融樹脂の流れ解析の数学的手法確認

溶融樹脂の粘弾性効果を考慮した溶融樹脂の流れ解析の数学的手法確認のための粘弾性モデルは、下記に示す Giesekus モデルを使って流れ解析を行った。

$$\boldsymbol{\tau}_i + \frac{\alpha_i}{G_i} \boldsymbol{\tau}_i^2 + \lambda_i \overset{\nabla}{\boldsymbol{\tau}_i} = 2 G_i \lambda_i \mathbf{D}$$

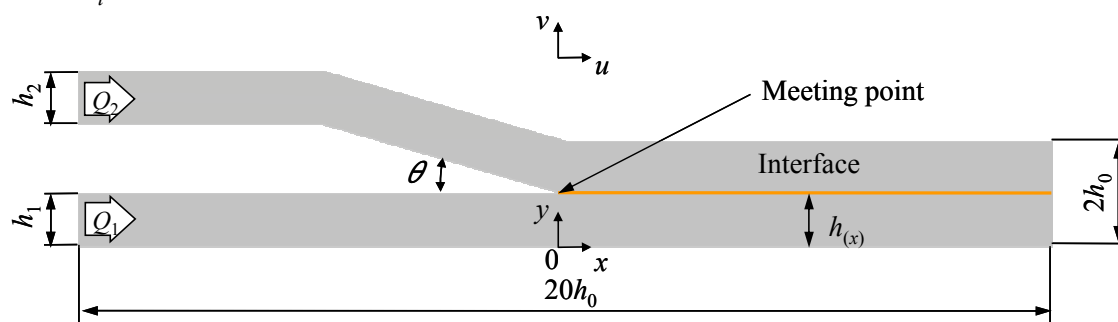


図 2-1 合流部の解析モデル

$h_1 = 5\text{mm}$ 、 $h_2 = 5\text{mm}$ 、 $\theta = 15^\circ$ として両相に HB233R を流量比 $Q_1/Q_2 = 1.00$ 、 1.02 、 1.05 、 1.10 と変化させて解析を行った。平均流速は、 $Q_1/Q_2 = 1.00$ のときに $u_0 = 1.10 \times 10^{-2} \text{m/s}$ である。各々の条件における界面形状は、図 2-2 に示す結果となった。第二相が角度 $\theta = 15^\circ$ で第一相に合流する場合、界面位置は押し下げられ、流量比が大きくなる程その食い込みは減少する傾向にあるが、第一相の流量を 5% 増加させるとその現象は見られなくなる。

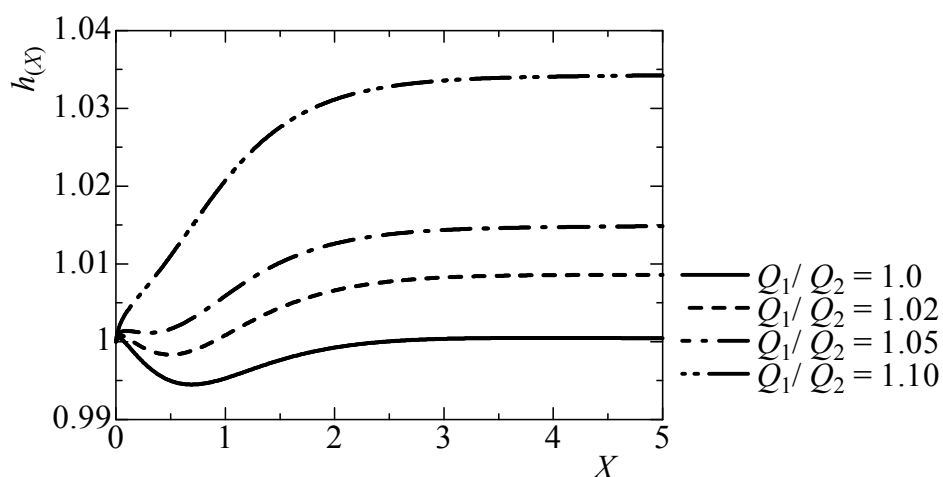


図 2-2 HDPE(HB233R)の流量比と界面形状

2) コンピューターソフトによる流れ解析

ダイの設計は、ダイのおおよそのデザイン、寸法を決めた後、コンピューターソフト

によって詳細を決めた。

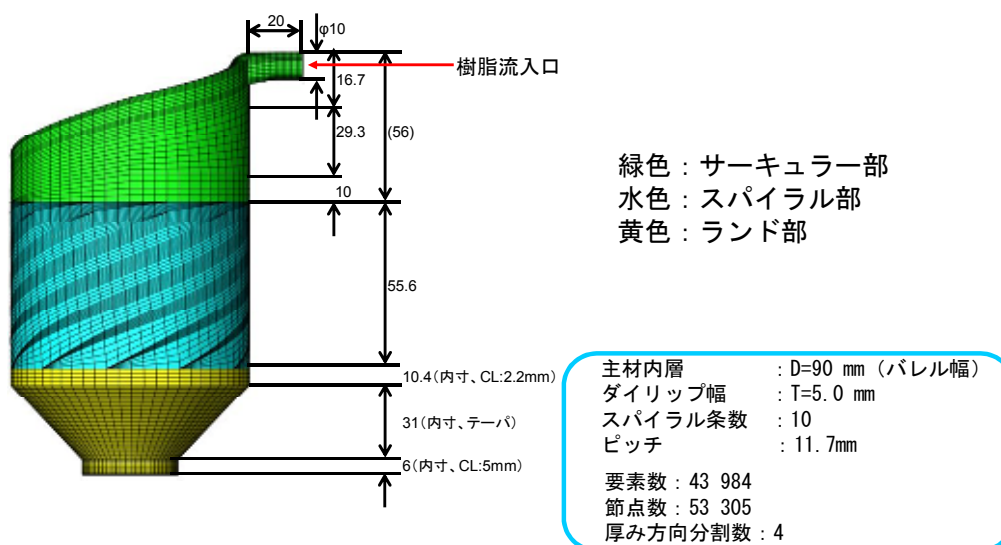


図2-3 有限要素法によるダイの一貫解析概念図

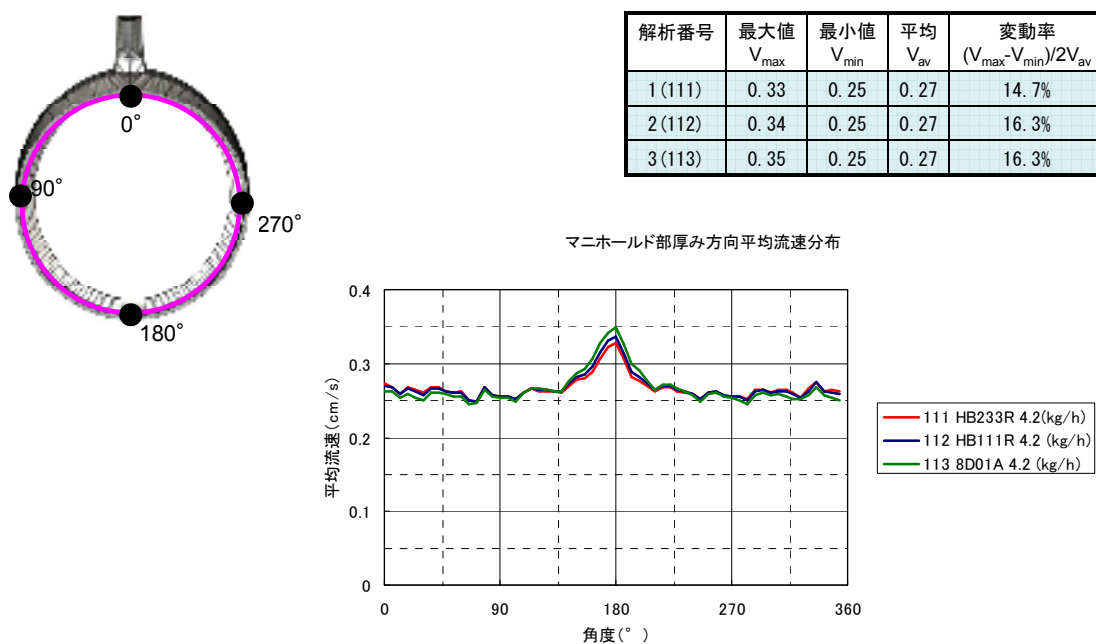


図2-4 主材内層マニホールド部の流速分布

解析結果によるとマニホールド部は、ウェルド近辺を除くと流速の変動量は、±3.7%程度であるのに対し、ウェルド部では、22%も流速が速くなっていることが分かったのでウェルド部の構造を修正した。

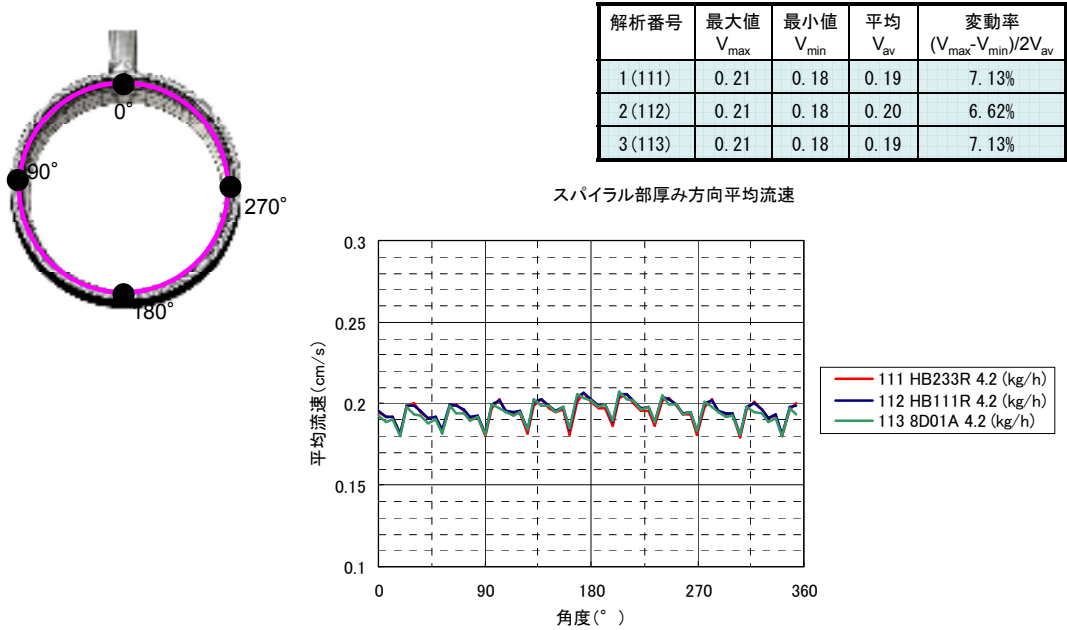


図2-5 主材内層スパイラル部の流速分布

スパイラル部の流速分布は、±7.9%あり、かなり大きい。これは、個別に解析した結果と異なる。最終出口部の流速変動量は、±0.78%であり、かなり良くなっている。一貫解析の結果、最後の絞りの部分が流速分布に効いていることが分かった。また、スパイラル部は、デザイン上もう少し改善の余地がありそうであることもわかった。

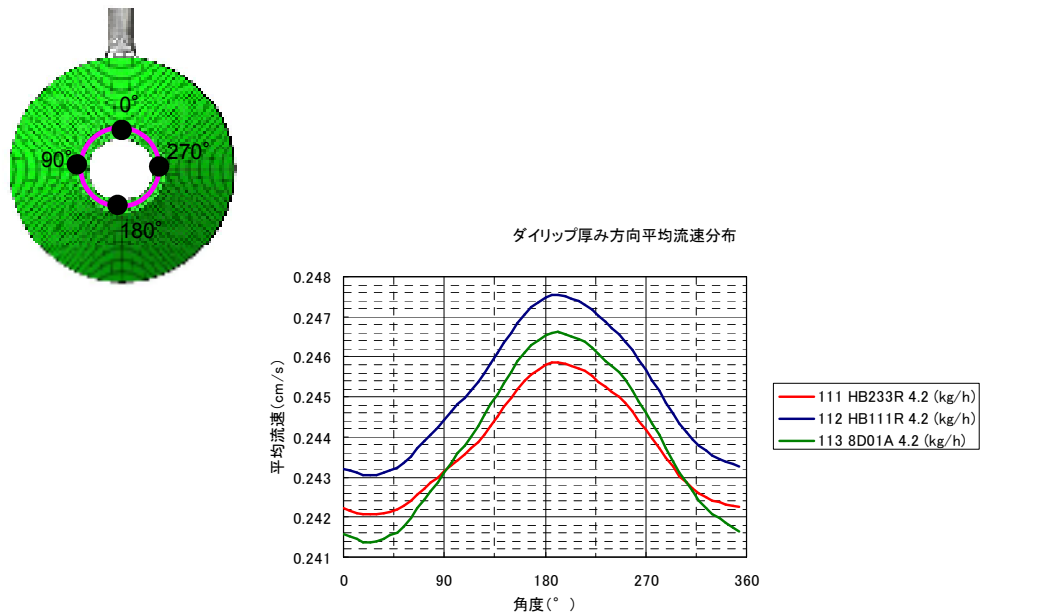


図2-6 主材内層ダイ出口の流速分布

〈軸方向の流量分布〉

コダマ樹脂工業（株）が自社開発したソフトを使ってスパイラル流と漏洩流がダイ内で入れ替わる状態を解析した。これは、ダイ軸方向での両者の流量分布を見ればわかる。

スパイラル流と漏洩流のダイ軸方向の流量分布を図2-7に示す。

ほぼ均一にスパイラル流と漏洩流が入れ替わっているのが分かる。

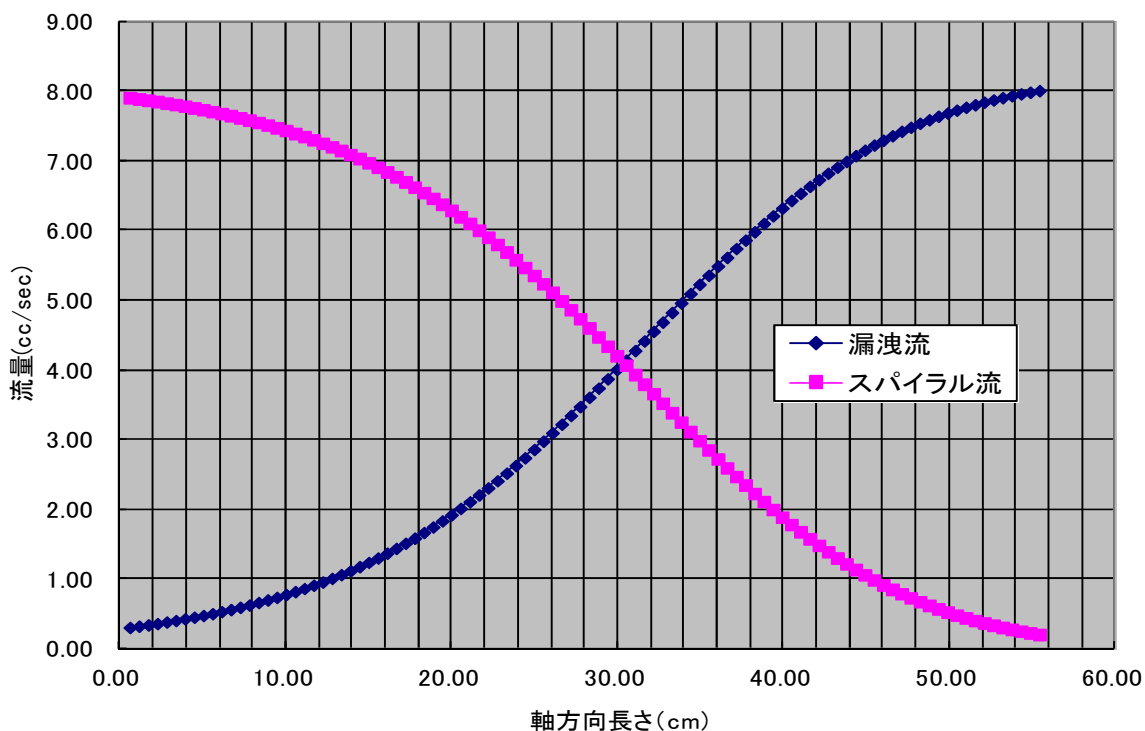


図2-7 主材内層スパイラル部軸方向の流量分布

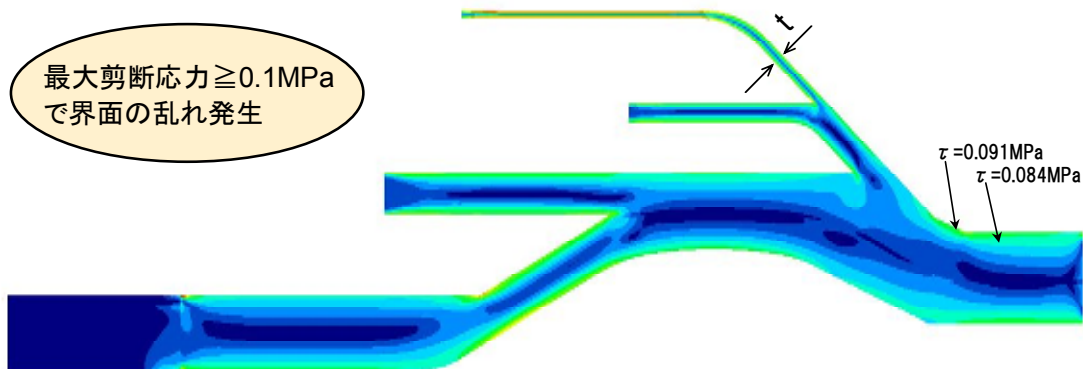


図2-8 ダイ合流部の剪断応力の解析

多層ダイでは粘度や流速の異なる樹脂が合流する時界面で乱れを発生する場合が出てくるのでこれを防止するために合流部の解析を行い、適正な寸法を割り出した。

3) 構造設計

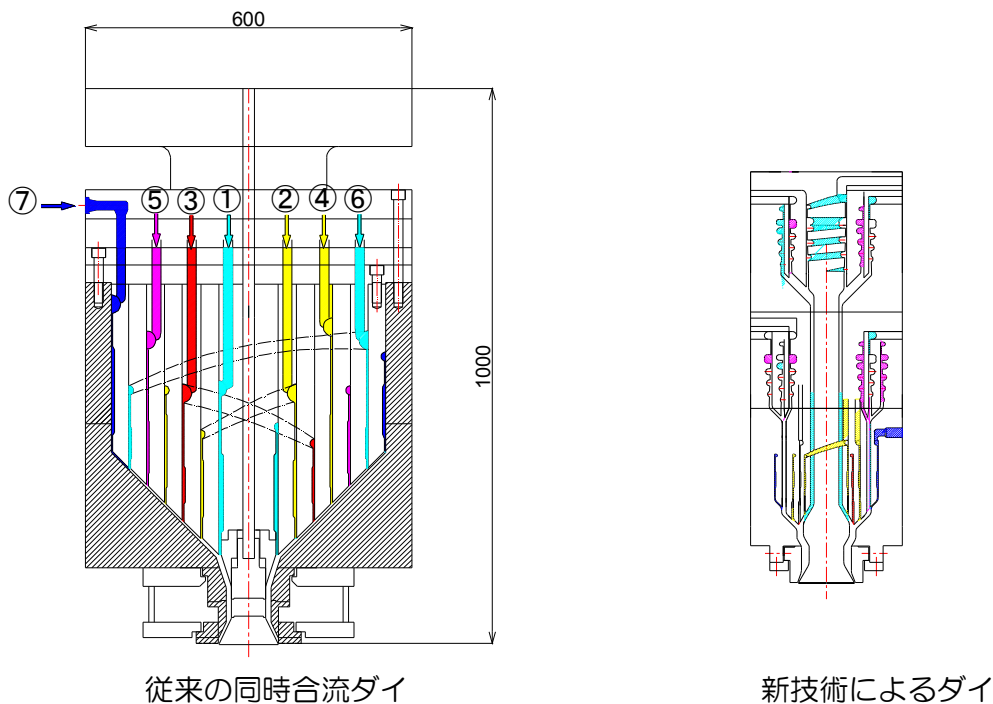


図2-9 従来技術によるダイと新開発ダイ

従来の同時合流ダイは、層の数が増えると構造上どうしてもダイ全体が巨大化、重量増の傾向があった。また、逐次合流タイプのダイは、各層の偏肉精度が不十分で製品の品質が良くない傾向が見られた。本研究開発によるダイは、流量の多い層と少ない層のダイデザインを変えそれぞれを最適化した。また、熱劣化しやすく頻繁に清掃が必要なダイについてはこれを一つのブロックにまとめ、分解清掃しやすくした。

上図に新技術による5種7層多層ダイの構造を示す。

このことにより、ダイの大幅な軽量化と小型化が可能になり、同時に製造コストを下げる事ができた。

また、ダイの分解、清掃時間を大幅に短縮できた。

設計上の工夫とコンピューターによる数値解析を繰り返すことにより、ダイデザインを高度に洗練させることができ、偏肉精度の改善や樹脂替え時間の短縮を可能にした。

2-2 成形機の検証実験
 〈肉厚変動〉



図2-10 2Lボトル

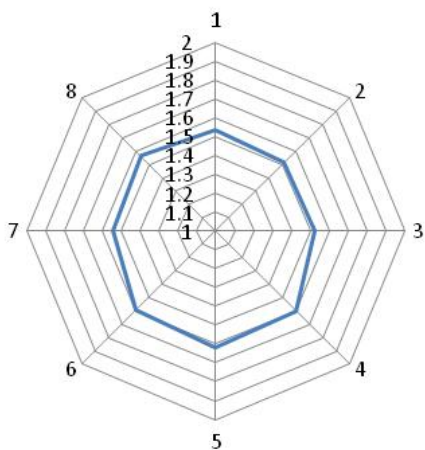
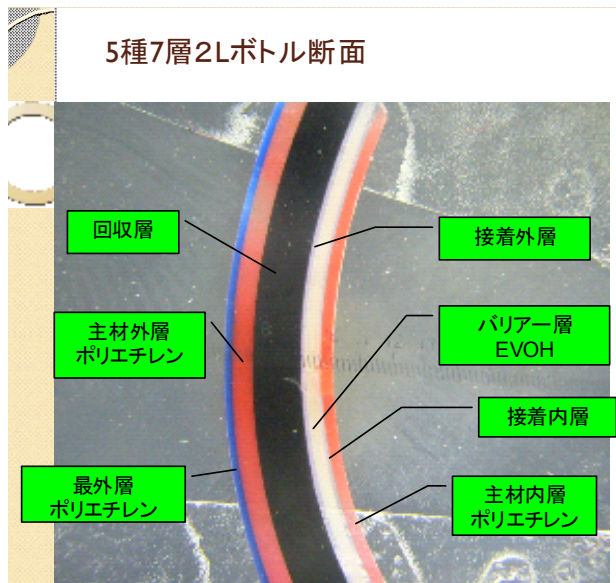


図2-11 2Lボトルの肉厚分布

表2-1 肉厚測定結果

測定位置	測定値
	mm
1	1.538
2	1.512
3	1.522
4	1.604
5	1.615
6	1.596
7	1.545
8	1.563
平均値	1.562
偏差 +	3.4
(%) -	3.2

5種7層の2Lボトルにて胴部周方向の肉厚測定の結果を図2-11及び表2-1に示す。従来の製品では±10%程度の肉厚のバラツキが見られたが本研究では±3%の偏肉精度を達成することができた。

成形品の肉厚変動は、成形速度を上げてゆくと悪くなる傾向を示す。(図2-12参照) 本研究のダイを使用した場合は、成形速度を従来より50%アップしても±5%の偏肉精度を維持できることが分かった。

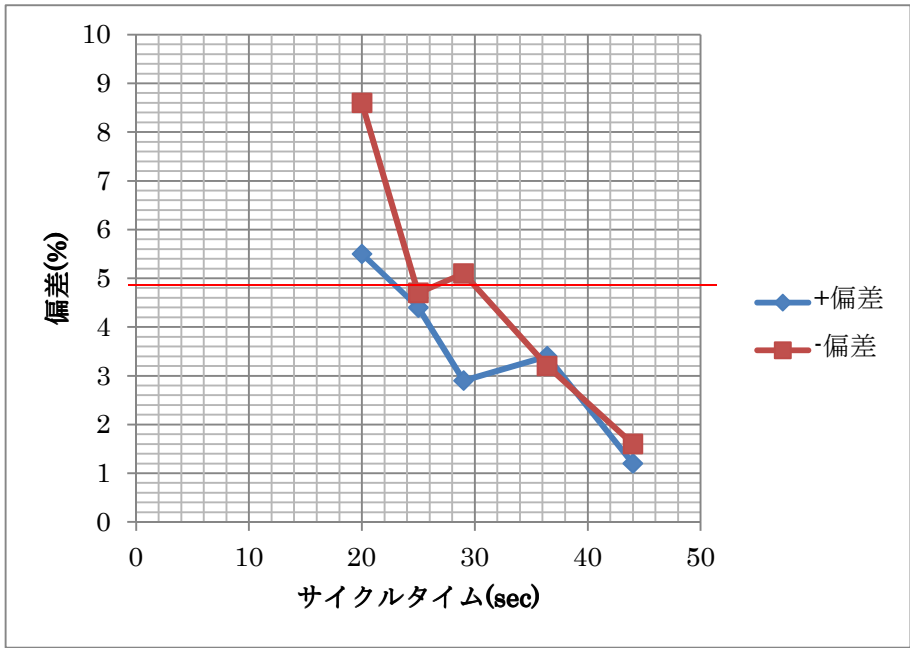


図2-12 成形サイクルタイムと肉厚偏差の関係

表2-2 各層の樹脂交換時間

No	名称	樹脂交換時間 (min)				
		目標値	H21	H22-1	H22-2	H23
1	主材内外層	60	78	23	26	27
2	回収材層	60	30	22	24	24
3	バリアー層	60	180	40	65	49
4	接着内外層	60	180	60	60	55
5	最外層	60	168	68	66	42

樹脂交換時間は、当初は、180分もかかったが、最終的には、60分以内に収めることができた。樹脂交換時間は、マニホールド部の平均流速が速くなるほど短くなる傾向がある。(図2-13参照) 従って、マニホールドのサイズをできるだけコンパクトにするのが良い。

多層ブロー成形機は、多くの押出機と複雑に連結しているため、非常に手間がかかり、ダイヘッドの分解清掃は、従来、1週間程度の時間がかかった。

作業時間を短縮するために、ダイヘッドのデザインの工夫と押出機とダイヘッドをつなぐ連結管をつなぎやすくすることによって作業時間の短縮を図った。

作業の総計時間は、16時間であった。休憩時間や段どり時間を含めると2.5日を要した。

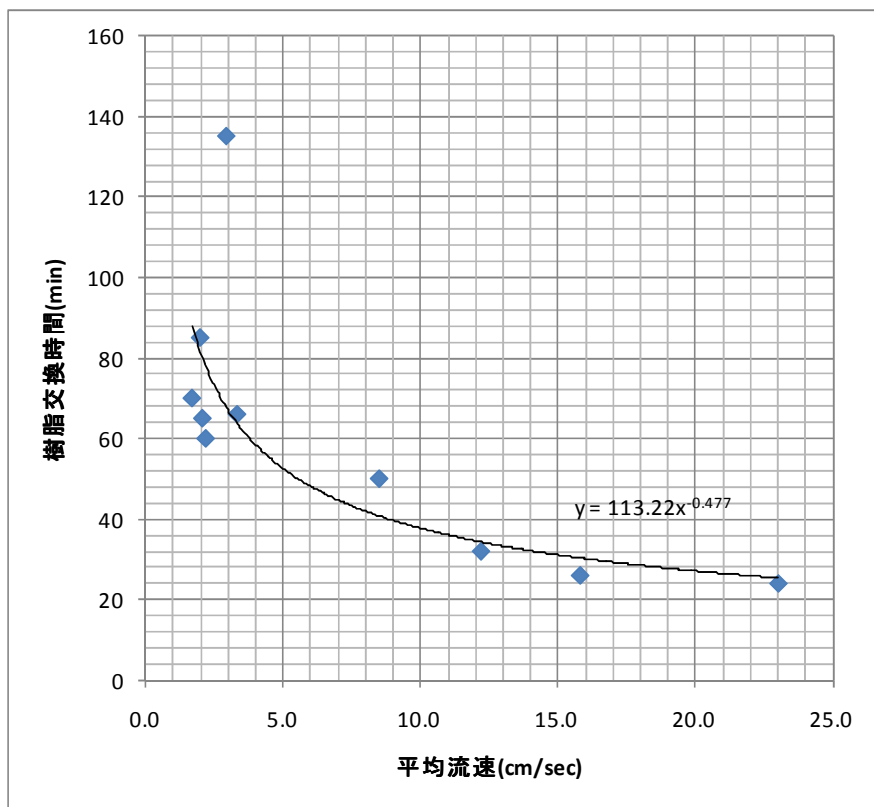


図2-13 樹脂交換時間とマニホールド部の平均流速の関係



図2-14 ダイヘッドの分解、清掃作業

2-3 成形品の解析

1) 回収材層の分散状態

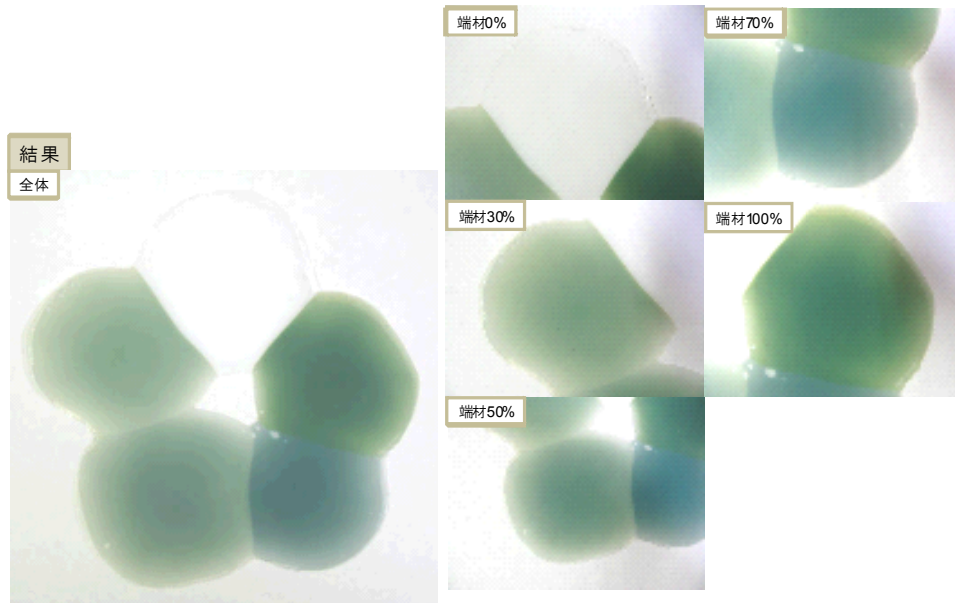


図2-15 回収材層の分散状態

HDPE にボトルの粉碎品を混ぜたもので2L ボトルを成形し、それを熱プレスしてフィルム状にし、バリの混ざり具合を調べたところ、上図のように分散状態は、非常に良いことが分かった。胴部の引張伸びもバリ混合率を変えてもほぼ一定の値であった。

2) ピンチ部の引張特性

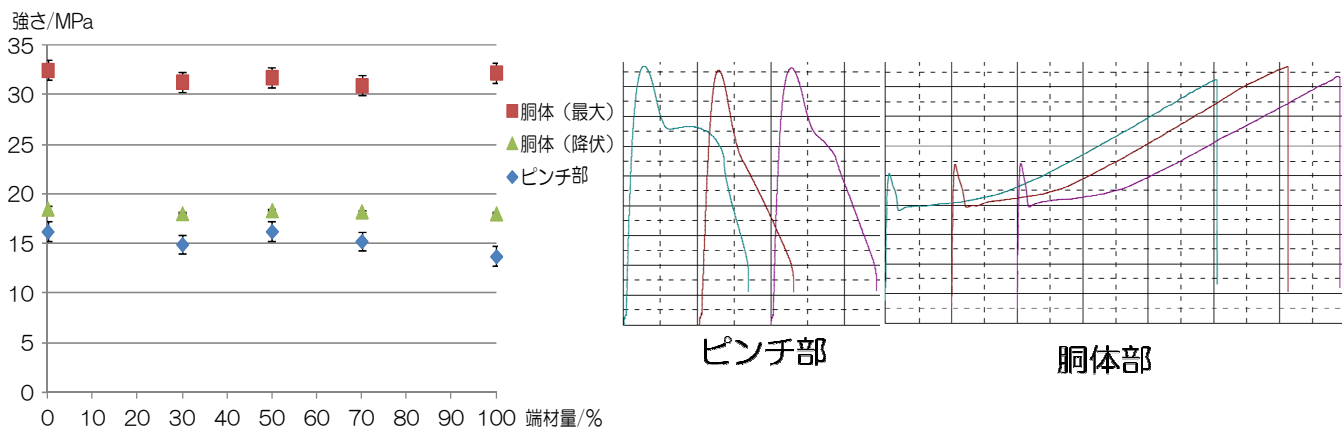


図2-16 ボトルピンチ部と胴体部の引張特性比較

ピンチ部と胴体部は、降伏強度はあまり違わないが、伸びが大きく異なる。引張衝撃強度は、胴体部に比べてピンチ部は、1/4~1/5であった。回収材の混合率を変

えても引張衝撃強度は、あまり変わらなかった。

3) 5種7層2Lボトルの断面構造

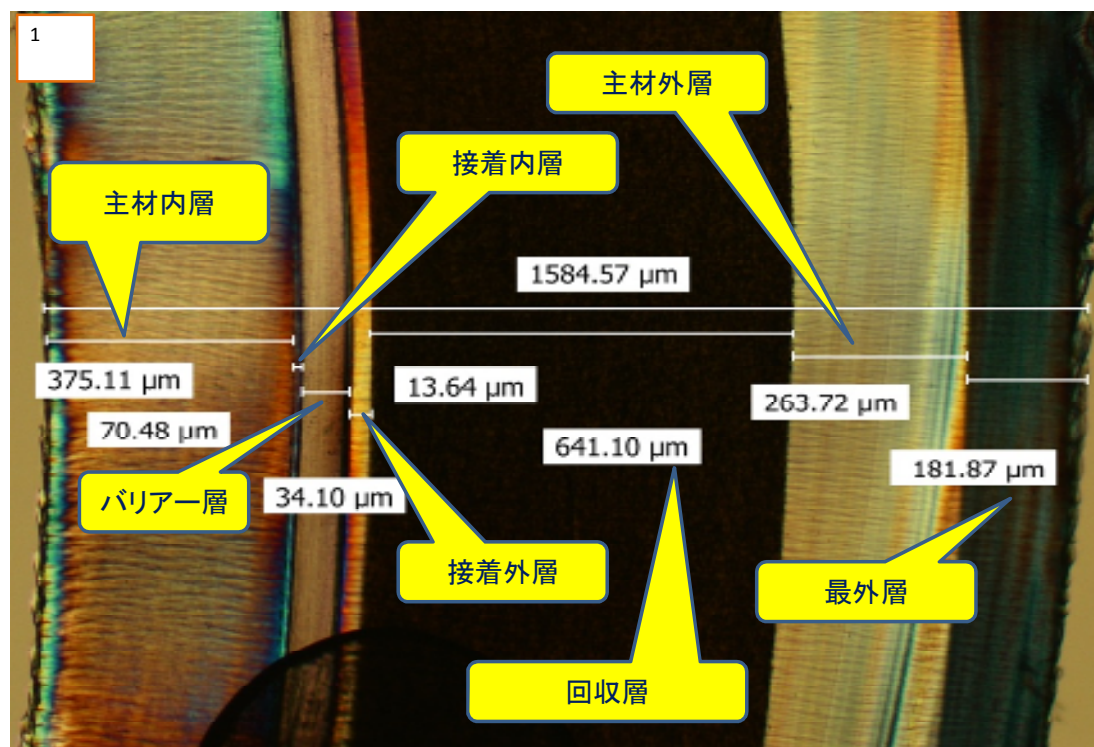


図2-17 5種7層ボトル断面の偏光顕微鏡写真

偏光顕微鏡にて各層の厚さを測定したところ接着内層の厚さが接着外層の厚さの 1/3 程度であることが分かり、厚み調整に有効に活用できた。

第3章 省エネルギー型押出機の開発

3-1 数値解析と設計

1) 開発コンセプト

固体輸送と熔融過程の効率改善

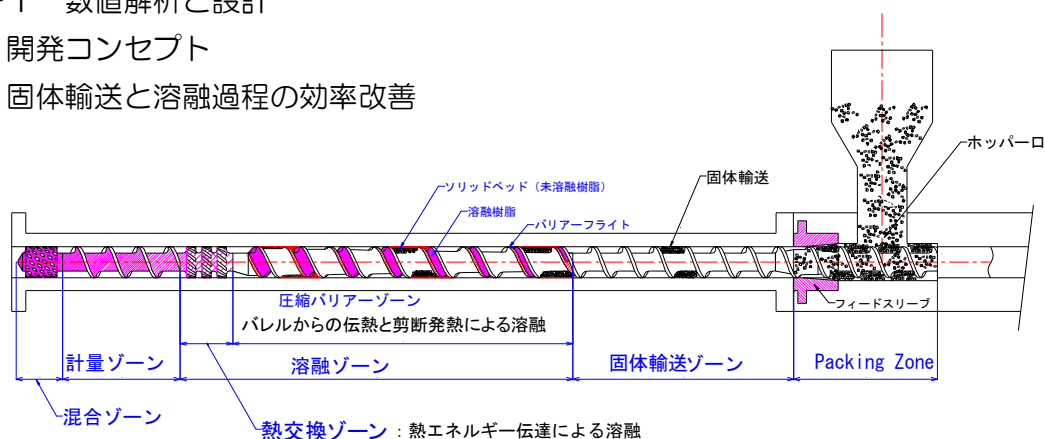


図3-1 省エネルギー型押出機のイメージ図

フィードスリーブとスクリュウデザインを最もエネルギー効率の良いものにする
ことによって比エネルギーを30%以上改善することを目指す。

2) 押出機の熔融挙動解析

ホッパーから入った固体のペレットが、押出機内で溶けて、混練されて押出されるまでの全過程がシミュレーションできるソフトを使ってスクリュウのどのセクションでどのくらいのエネルギーが消費されているのか解析を行った。

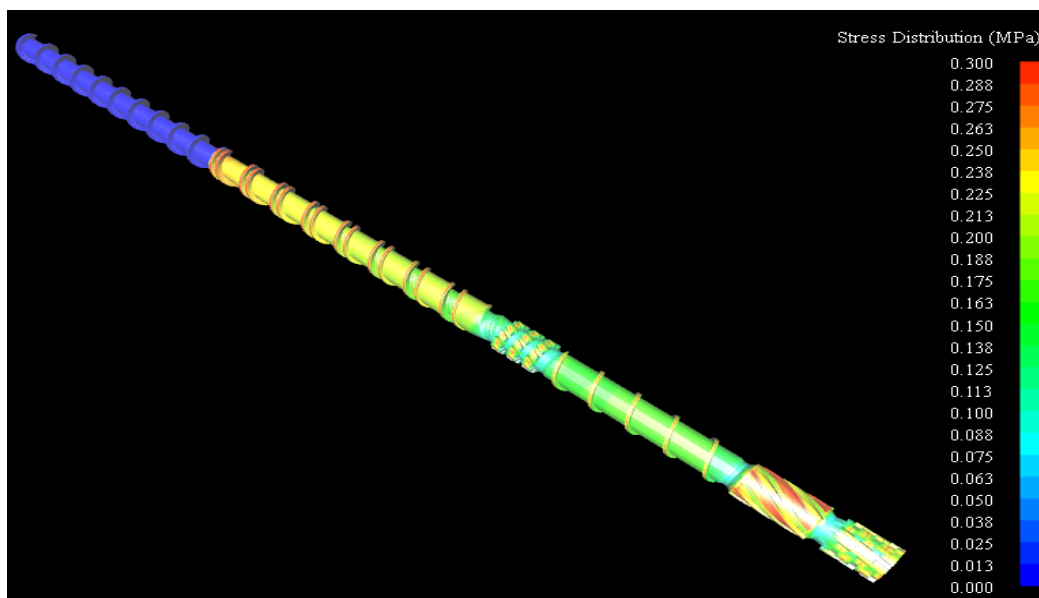


図3-2 開放バリアー型スクリュウの応力分布解析結果

表3-1 各種スクリー解析結果

ゾーン	ML50-28Z		ML50-28F-2		ML50-28J-2	
	比エネルギー	樹脂温度	比エネルギー	樹脂温度	比エネルギー	樹脂温度
	kwh/kg	℃	kwh/kg	℃	kwh/kg	℃
フィード	0.011	110	0.016	135	0.009	117
バリア1	0.152	197	0.102	193	0.128	197
バリア2	0.088	241			0.064	222
ダルメージ			0.011	216		
メタリング			0.038	221		
スパイラルシェア	0.037	238	0.023	223		
パイナップル			0.012	221	0.015	215
合計	0.288		0.202		0.216	

解析の結果、熔融過程に当たるバリアー部で比エネルギーの大半が消費されていることが分かったのでバリアー部のスクリーデザインを検討した。

3-2 検証実験

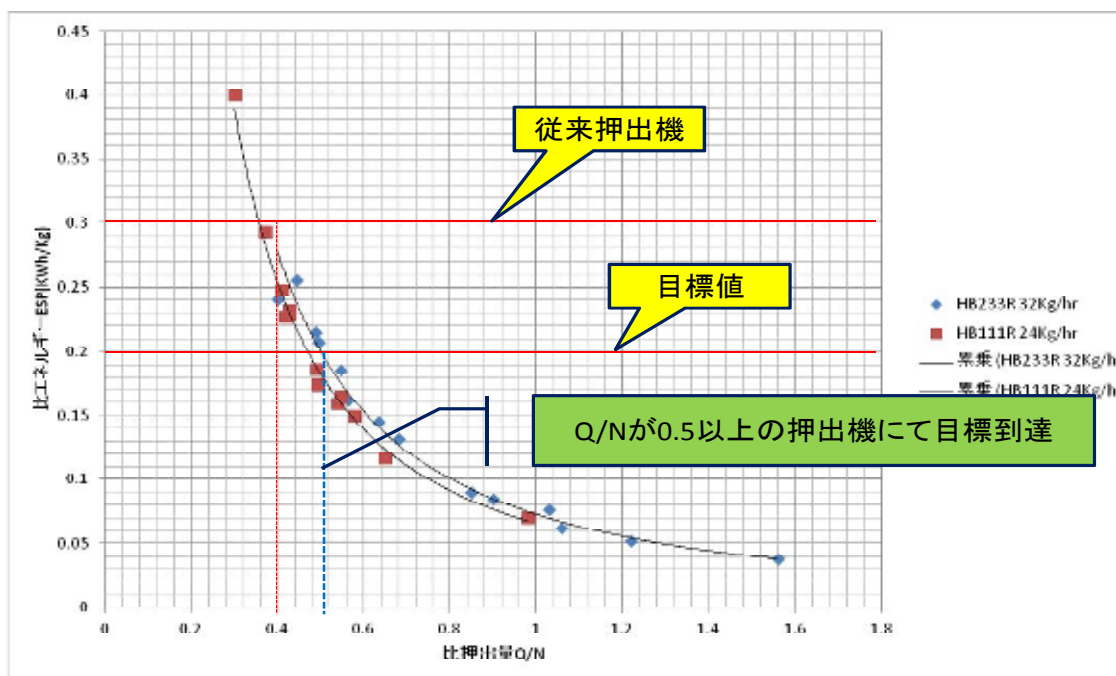


図3-3 比押出量と比エネルギーの関係

多くのスクリュウ及びフィードスリーブを使った押出テストの結果、比エネルギーは、比押出量（スクリュウ 1 回転当たりの押出量）と良い相関性があり、目標値の 0.2KWh/Kg 以下にするには、比押出量を 0.5 以上にすればよいことが分かった。

しかし、押出機の性能は、押出量、樹脂温度、混練性、比エネルギー等の総合性能で決まるので比押出量 Q/N が 0.5 以上のスクリュウについて顔料分散を比べてみた。



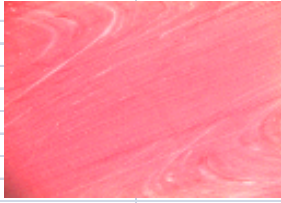
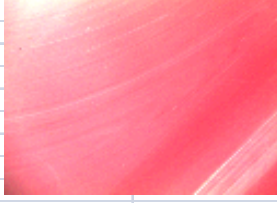
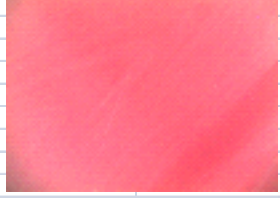
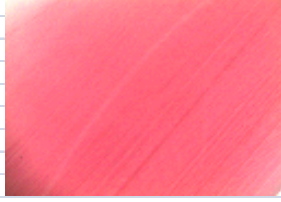
表 3-2 に結果を示すが、スクリュウ L-1 は、押出量が多く、Q/N も大きい顔料分散が良くない。

一方、スクリュウ M, J-2 は、非常に顔料分散が良く、樹脂が均一に練れていることが分かる。M と J-2 を比較すると、M は、J-2 に比べて押出量が少なく、樹脂温度が高い。

3本のスクリュウの中では、J-2 が最もバランスがとれたスクリュウと言える。フィードスリーブについては、高分子量の HDPE (HLMFR=6, $M_w=15 \times 10^4$) を押出すには L/D の大きいものが有効であることが確認された。一般グレード (MFR=0.3, $M_w=7.7 \times 10^4$) については、L/D が短くても十分な押出性能が得られることが分かった。

これによって、比エネルギーを従来より 30% 低減することができた。

表 3-2 各種スクリュウの顔料分散

スクリュウ	HB233R				HB111R			
	N(rpm)	Q(Kg/hr)	判定	顔料分散状態	N(rpm)	Q(Kg/hr)	判定	顔料分散状態
M	126	75.5	○++		126	60.7	○++	
		243°C				267°C		
		Q/N=0.599				Q/N=0.482		
L-1	100	104.2	△~ ○		100	66.3	○+	
		223°C				257°C		
		Q/N=1.043				Q/N=0.663		
J-2	126	89.7	○		126	76.6	○++	
		228°C				243°C		
		Q/N=0.712				Q/N=0.583		

第4章 滞留劣化の少ない表面処理技術開発

4-1 ダイ表面コーティング材料の検討

1) コーティング材料

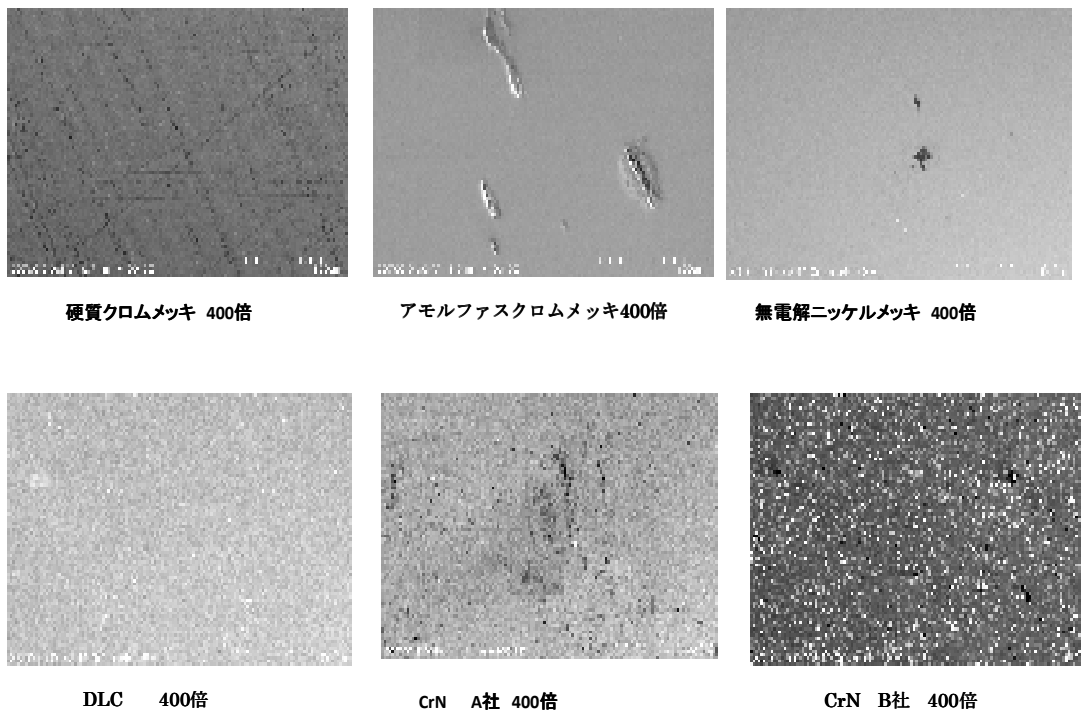


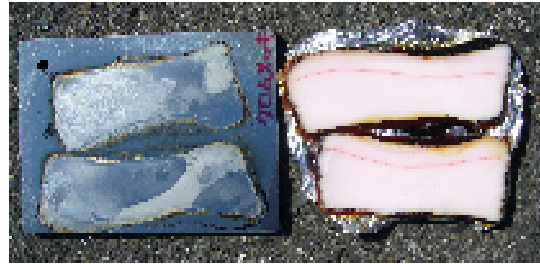
図4-1 各種コーティング材料の電子顕微鏡写真

ヤケコゲはブロー成形において製品不良原因の第1位である。多層では熱劣化し易い樹脂も使うので特に滞留劣化物が付着しにくいダイコーティングが求められる。

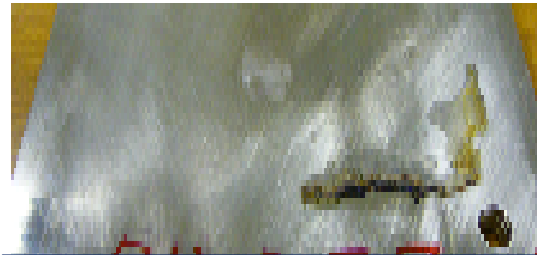
硬質 Cr メッキより優れたコーティング材を求めて図4-1のような材料を検討した。スクリーニングに当たっては、図4-2のような加熱装置を用い、テストピースにて加熱劣化テストを行った。表4-1に示すような各種指標に対する総合的評価によって評価を決めた。



試験片加熱装置



加熱処理後の試験片の状態



無電解ニッケルメッキの皮膜耐久性試験後の試験片の状態

図4-2 加熱装置と加熱処理後の試験片の状態

表4-1 コーティング材料の総合的評価

表面処理	総合判定	樹脂付着性	清掃性	価格	摩擦係数	表面平滑性	皮膜耐久性
Crメッキ	△~×	×	△~×	○	△ 0.24	△~×	△~×
無電解Niメッキ	△	△	△~○	△	△ 0.27	○	△~×
アモルファス クロムメッキ	△~×	△	○	×	×	△	△
DLC	○	△~○	△~○	△	△ 0.27	◎	○
CrN	△	△~○	△~×	○	○ 0.20	×	△~○
無処理	×	××	××	◎	△ 0.27	△~○	×

4-2 押出テストによる検証



図4-3 押出テストの様子



テスト前

テスト後（ダイ先端のヤケコゲが目立つ）

図4-4 硬質クロムメッキのダイヤモンドレル



テスト前

テスト後（溝部に僅かに付着が見られるが先端はきれい）

図4-5 DLC コーティングのダイヤモンドレル

DLC コーティングが、テストピースによる結果と同じく、ヤケコゲ付着、ダイ清掃性において最も良い結果が得られた。

〈技術成果まとめ〉

〈ダイハッドの技術的目標値〉

	項目	技術目標値	達成値
1	軽量化	ヘッド重量を約 1/6~1/4 に低減 24 t を 6 t に低減 (実機) 600Kg を 100Kg に低減 (実験機)	約 1/7 に低減 ヘッド重量を 600Kg から 85Kg に低減
2	小型化	サイズを約 1/2 に縮小 径 1800Φ を 700Φ に縮小(実機) 径 400Φ を 150Φ に縮小 (実験機)	約 1/2 に縮小 径 400Φ を 148Φ に 縮小
3	樹脂替え時間	約 1/2 に短縮 現行 2 時間を 1 時間に短縮	約 1/2 に短縮 1 時間以内に短縮
4	保繕、管理	ヘッド分解清掃を約 1/3 に短縮 6 日を 2 日に短縮	1/2.4 に短縮 6 日を 2.5 日に短縮
5	肉厚変動	約 1/2 に向上 変動幅 ±10% を ±5% に向上	±3% に向上
6	製作費	約 1/2 に低減 6000 万円を 3000 万円に低減 (実機) 2000 万円を 500 万円に低減(実験機)	約 1/4 に低減 2000 万円を 500 万円に 低減

〈押出機の技術的目標値〉

	項目	技術目標値	達成値
1	比エネルギー	約 30%低減 0.3KWh/Kg を 0.2KWh/Kg に低減	約 30%低減 0.3KWh/Kg を 0.2KWh/Kg に低減

第5章 最終章

多層ブローの市場は、600～900 億円である。表5-1に示すように当面は 20 億円くらいの売上を目指す。将来的には、市場の7%、40～60 億円としたい。

用途は、フォトレジスト容器、化学品容器を主目標とするが全分野を視野に入れている。燃料タンクは、二輪車、汎用エンジン等の比較的小型のものから手掛ける。

〈開発技術の事業化への活用〉

フッ素樹脂を最内層としたオリジナル容器を開発し、耐溶剤、耐薬品、バリアー性、クリーン性を必要とする分野への販売を目指す。

ダイヘッドの高性能化に伴う高速成形技術により、従来製品より高精度で低コストの製品を生産し、十分な市場競争力のもとに商品展開を図る。

5-1 多層ブロー市場と開発ターゲット

用途	市場規模 (億円)	当社売上目標 (百万円)	備考
燃料タンク	200～300	200	2～5L
食品容器	200～600	10	500ml～2L
農薬容器	30～60	30	500ml～1L
フォトレジスト容器	20～30	600	1L、ガロン缶
化学薬品容器	40～50	160	5～20L
香料容器	10～20	180	20L
合計	600～900	1,180	

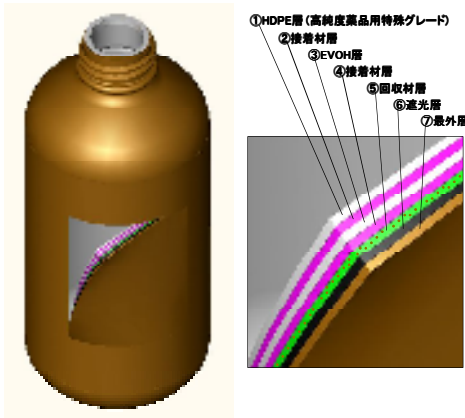
今年1年は、市場評価用の容器によるマーケティングを行い、事業化のための下準備を行う。EVOH をバリアー層とした一般的なバリアー製品と共に新素材であるフッ素樹脂を最内層とした新製品のサンプルを作成し、新たな用途の発掘に努める。

市場開発用容器の開発

5種7層フォトレジスト用1L多層容器

コダマ樹脂工業株式会社

高純度薬品用高密度ポリエチレン特殊グレードを内層とし、エチレンポリビニルアルコール共重合体EVOHを酸素・溶剤バリア層としたフォトレジスト用多層容器を開発しています。

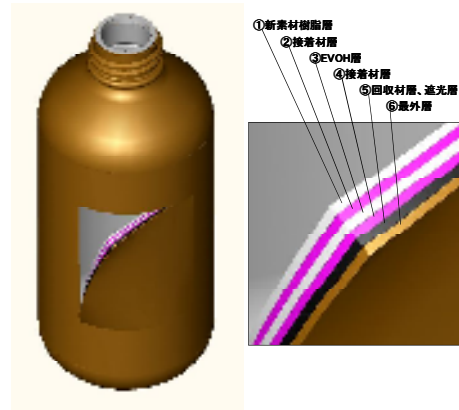


- <基本性能>**
- ①パーティクルの溶出 : 0.2μmの粒子の溶出量 10~20 個/ml
 - ②ガスバリアー性 : 空気中の酸素に対しバリアー性を有します
 - ③溶剤バリアー性 : ポリエチレンに比べて1/2000~1/20000の溶剤透過速度のバリアー層を持っています
 - ④遮光性 : 紫外線透過率は0.1%以内です

6種6層フォトレジスト用1L多層容器

コダマ樹脂工業株式会社

最内層に特殊な新素材樹脂を用いることにより、従来のバリアー性多層容器より格段に優れた耐粒子溶出性能を有するフォトレジスト用多層容器を開発中です。



パーティクルの溶出を極力抑えることにより、ガラス瓶に替るフォトレジスト用容器を目指しています。ガラス瓶より軽量で耐衝撃強度、耐落下強度があります。

市場評価用ボトル

