

日本プラスチック工業連盟誌

# プラスチック

Japan Plastics

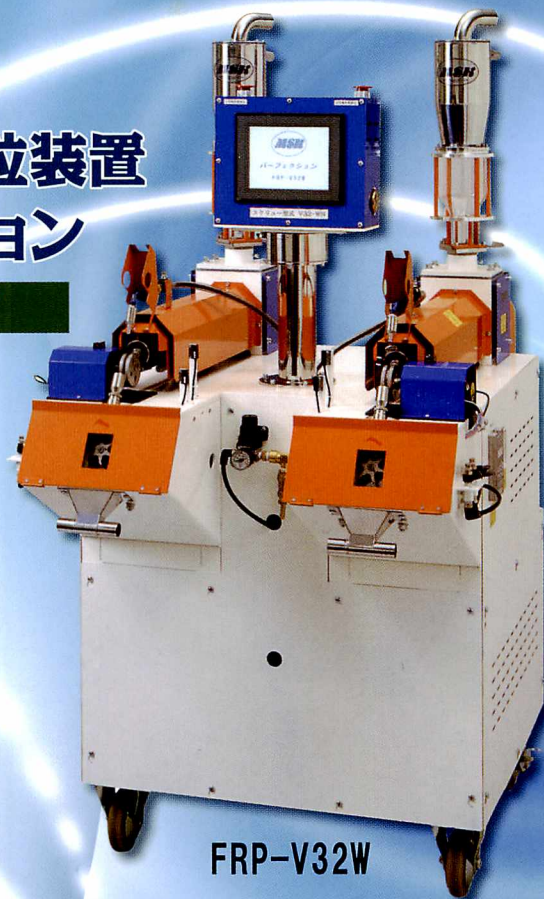
8

2013

●特集:これでわかるホットメルトモーディング / (特別企画:プラスチック関連輸入機器・ソフトウェア ファイル)

## ペレット再生造粒装置 パーフェクション

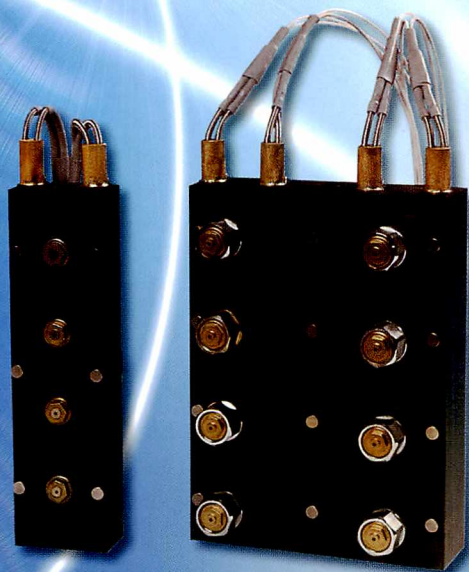
1台2役タイプ



FRP-V32W

ミニホットランナー射出成形装置  
(ホットランナー・コルゲートシステム)

射出成形金型支援装置



MSP-MARK2



株式  
会社

明星金属工業所


 解説

# 高周波誘電加熱を用いた 高品質プラスチックレンズの迅速製造技術

上智大学 堀越 智  
株式会社 サルックス 来田 文夫・中出 義彦

## 1. はじめに

モノづくりにおける多くの工程では加熱や乾燥などの熱処理が必須とされ、効率的な加熱法の開発が繰り返し検討されてきた。現在では、燃焼による熱風や炎、スチーム、電熱線などが一般的な加熱法として使われている。これらの特徴は、試料に対して外から内へと徐々に温めていく伝熱を利用しており、いわゆる外部加熱と呼ばれる方法である。

一方、電子レンジ（マイクロ波）などに代表される電磁波を利用した加熱は、容器や試料雰囲気を温めることなく、試料が自己発熱することから内部加熱と言われている。この中でも、高周波による加熱プロセスは昔から行われてきた。高周波加熱の種類としては、金属の焼き入れや溶解などに用いられている誘導加熱と、誘電体を選択的に加熱できる誘電加熱が知られている。誘導加熱の歴史は古く、1891年には金属溶融技術として欧米で産業利用されてきた。

“誘電加熱＝電子レンジ”と連想される読者も多いと思われるが、実は高周波の方がマイクロ波より歴史が古く、わが国でも1945年以降より実用化研究が広く進められてきた。当時におけるこの技術への期待は高く、1946年には日本学術振興会において、電気、化学、生物学、生理学、木材などの専門家らによる高周波電気応用第34特別委員会が設けられ、研究者や技術者による活発な議論が繰り返された。その後、高周波を用いた誘電加熱は、木竹材の乾燥・成型・接着、殺虫、茶葉の乾燥、繊維分野への応用、ゴムの加硫、化学合成、ラジオメスなどの医療分野へ実用が進められた。また、当時の時代背景の中で、菌の殺菌やペニシリンの乾燥などの熱源を高周波に代替えることで生産性が数百倍に促進したことが記録に残っている。現在でも木材乾燥

やドーム球場のテントシートの接合などはこの技術が得意とする分野である。

既存の加熱に対して高周波誘電加熱の特徴はどのようなものであろうか？それらを次にまとめた。

- ① 高速加熱：高周波は光速で試料へ浸透し、試料自身が発熱するため伝熱時間が不要である。したがって、既存の加熱に比べて加熱時間を著しく短縮できる。
- ② 高い熱効率：試料が自己発熱するため、周囲の空気や炉を予熱する必要がなく、省エネな加熱を実現できる。
- ③ 高速熱応答性：高周波照射を停止させると、雰囲気が加熱されていないため試料が急激に冷える。したがって、高周波をパルス照射すると、試料の厳密な温度コントロールを行なうことができる。
- ④ 均一加熱：複雑な形状であっても均一に加熱することができる。
- ⑤ 選択加熱：極性および非極性材料が混合した試料には、極性材料だけが選択的に加熱される。
- ⑥ 電波の漏洩：マイクロ波は金属で囲った照射箱を使わなければ漏洩してしまうため大変危険である。一方、波長が長い高周波は開放条件であっても漏洩がない。したがって、装置の簡素化ができる。

## 2. メガネレンズ

メガネレンズ素材の種類は大きく分けて、プラスチックとガラスの2種類がある。昔はガラス製のメガネレンズが主であったが、耐衝撃性（難破損）、軽量、優成形性、容易な着色などの利点からプラスチック製メガネレンズが世界的に販売されてきた。しかし、プラスチック自体は柔らかい素材であるため、

表面に傷が付きやすいという欠点があったが、現在では表面にハードコートを行うことで耐擦傷性が著しく向上し、日本ではごく一部を除いてほとんどのメガネレンズがプラスチックに代替えされた。

現在、主なプラスチック原材料である熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂の生産量割合は9：1（2011年日本プラスチック工業連盟調べ）であり、そのほとんどが熱可塑性樹脂の製品である。熱可塑性樹脂は高温高压下で金属鑄型に射出し、成形するため、短時間に大量生産できることから最も多く利用されている。これに比べ、熱硬化性樹脂は液体試料に硬化剤を加えモールド（鑄型）の中でゆっくりと加熱する必要があるが、熱可塑性樹脂に比べ鑄型や装置コストが低い利点があるが、約20時間以上の加熱時間を必要とするため、大量生産には適していない。

メガネレンズ用途に使うプラスチックレンズは、光学常数、耐熱性、耐薬品性、枠入れの加工性などの優位性から熱硬化性樹脂レンズが採用されている。熱可塑性樹脂レンズと熱硬化性樹脂レンズの代表的なアッペ数（大きいほど色収差が小さい）を第1表に示す。熱硬化性樹脂のプラスチックレンズは熱可塑性樹脂レンズに比べ光学的に優れていることから、メガネ用途に適している。わが国における屈折補正用メガネレンズ（度付レンズ）の相対的割合は、熱可塑性樹脂レンズ（輸入品を除いてほぼ0%）、熱硬化性樹脂レンズ（97%）、ガラスレンズ（3%）であり、生産時間に難はあるが熱硬化性樹脂レンズを今後も生産する必要がある。したがって、加熱時間を短縮できれば、より安価なメガネレンズの生産に加え、現在では熱可塑性樹脂レンズを使っている既成老眼鏡やサングラスなどへの応用が考えられる。

第1表 熱可塑性樹脂レンズおよび熱硬化性樹脂レンズに対するアッペ数比較

	熱可塑性樹脂レンズ	熱硬化性樹脂レンズ
アッペ数	32	58

### 3. 熱硬化性樹脂レンズ生産への高周波誘電加熱の利用

熱硬化性樹脂レンズの問題点を改善するため、高周波誘導加熱を利用した。上述に示した通り、誘電加熱の別の方法としてマイクロ波が知られている。また、マイクロ波誘電加熱を用いた化学反応は2000年ごろから盛んに行われ<sup>(1)</sup>、ポリ乳酸を重合生産するための熱源として実用化に成功している。そこ

で、高周波加熱実験へ取り掛かる前に、各原料に対するマイクロ波加熱の特性を検討し、その可能性を確かめた。高周波やマイクロ波による物質の加熱効率を決定する因子として、物質固有の物性である比誘電正接（ $\tan \delta$ ）が挙げられる。

第2表には水および熱硬化性樹脂レンズの各原料溶液のマイクロ波（2.45 GHz）に対する $\tan \delta$ （加熱のされやすさ）をまとめた。水の加熱に比べ各原料溶液のマイクロ波に対する加熱効率は著しく高いことが分かる。したがって、これらの原料はマイクロ波による加熱効率が著しく高い物質であることが予想される。

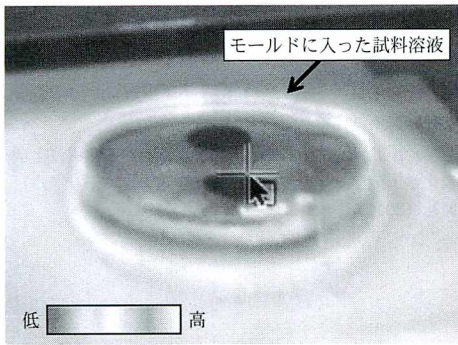
第2表 マイクロ波周波数（2.45 GHz）における原料および水の比誘電正接（ $\tan \delta$ ）

	水	原料溶液A	原料溶液B	原料溶液C
$\tan \delta$	0.106	0.659	0.199	0.153

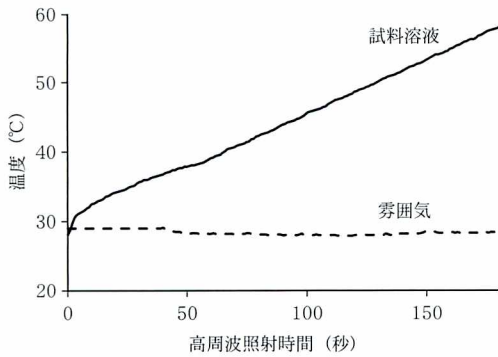
一方、誘電加熱の別の特徴として、加熱されやすい物質はマイクロ波が浸透しにくいことが知られている（浸透深さが浅い）。例えば、水の浸透深さ（ $1/e = 36\%$ の減衰）は2.1 cm程度であり、各原料溶液はそれより浅いことが算出された。したがって、様々な厚みのメガネレンズを同時に加熱し、生産する工程では、マイクロ波の浸透深さが浅すぎるため、汎用性の低い生産装置となることが予想できる。すなわち、厚みのあるメガネレンズでは、試料の中心まで均一に加熱することができないことが予想できる。したがって、より深い浸透深さを得るには周波数を下げる必要があるが、この点から高周波が最適であると決定した。

### 4. 高周波誘電加熱を用いた熱硬化性樹脂レンズ生産装置

高周波を用いたメガネレンズの作成装置を開発した。試料溶液を詰めた鑄型（モールド）を装置にセットし高周波を照射すると、試料溶液の温度が急激に上昇することが確認された。高周波照射下における試料の温度分布を第1図(a)に示す。モールドに含まれる試料溶液が高周波照射によって自己発熱し、温度上昇に伴うサーモグラフィの色変化が確認された。しかし、それ以外の場所の色変化は確認されず大気温度を維持していることが分かった。また、蛍光式光ファイバ温度計を用いた試料溶液および試料から数ミリ離れた位置の温度を測定したところ（第



(a) サーモグラフィ像



(b) 高周波照射時間に伴う試料および雰囲気温度変化

第1図 高周波照射下における試料溶液を含んだモールドの温度測定

1 図(b)、試料溶液は高周波の照射に伴って温度が一定の割合で上昇したが、試料から数mm離れた位置ではまったく温度が変化しないことがモニタされた。すなわち、既存法である電熱ヒータを用いた加熱とは温度分布が大きく異なることが示された。高周波法では試料だけが加熱されるため、高周波の消費電力は平均で数ワットに抑えることができ、既存法に比べ著しい省エネが達成できることが示された。

より詳細な温度分布を検討するため同様の試料に数十ワットの高周波を連続照射した。数分の高周波照射によって試料液体が完全に硬化し、また過剰な加熱によってレンズの中心が黄色に変色した。これは高周波加熱では試料溶液の中心が最も高温になっている証拠であり、正常に内部加熱が進行していることを表している (写真1)。

高周波誘電加熱法によりメガネレンズを生産するため、様々な角度から最適条件を検討した。特に、重合のための温度条件や高周波法に適した試料調整を行わなければ脈理が発生するためレンズとして利用することができない。写真2(a)には試行途中のメ

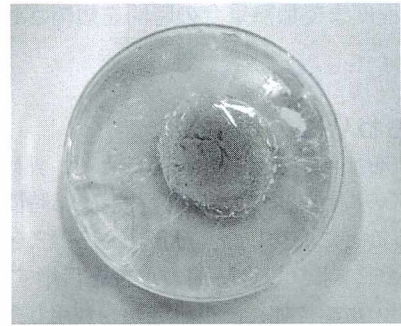
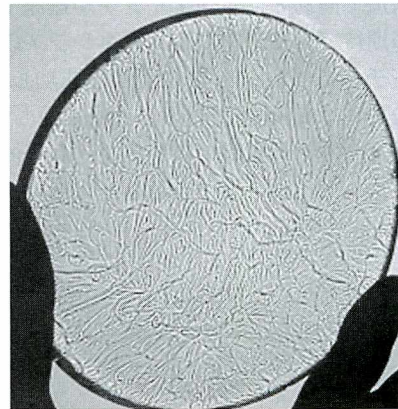
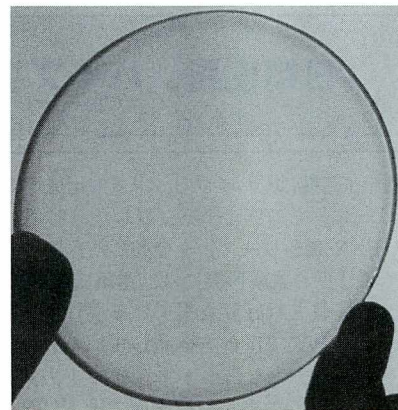


写真1 高周波過照射下におけるメガネレンズ試料

ガネレンズ (脈理あり) を示す。現在では、さまざまな工夫により脈理のないメガネレンズの試作に成功した (写真2(b))。既存の加熱法を用いて、同品質のメガネレンズを生産するには、20時間以上の加熱重合が必要であるが、高周波法を用いることで



(a) 脈理あり (失敗)



(b) 脈理なし (成功)

写真2 高周波誘電加熱で作成したメガネレンズ

2.5時間程度まで加熱重合の時間を短縮させることに成功した。

## 5. おわりに

高周波を加熱源として用いることで、熱硬化性樹脂レンズの問題点である加熱時間を2.5時間まで短縮させることに成功した。今後、さらなる最適化を行うことで、より短い時間の重合を目指す。また、加熱時間の短縮に加え、自己発熱を利用した本方式は消費電力を多きく節約することができることが分かった。さらに、これらの利点を生かし、実際のメガネレンズの生産装置の試作を進めている。特に、加熱時間の短縮による効果は連続生産装置への応用が期待できるが、もしマイクロ波を利用した装置を設計すると電波漏洩の観点から複雑な構造の装置が必要となる。一方、高周波は電波漏洩の心配がほとんど必要ないため、ベルトコンベア方式などの連続加熱装置を容易に安価で設計できる。したがって、単純な構造で簡易オペレーティングが達成できる連続装置が期待できる。また、メガネレンズ以外でも数十センチ角のプレート板の製作も成功しており、様々な分野への応用ができることを実証している。本研究は、熱硬化性樹脂の問題点を、高周波技術が改善し、シーズとニーズが合致した実例であると考えられる。

本稿により、すでに成熟している高周波技術が新たな分野へ広がるきっかけになれば幸いである。

### <参考文献>

- (1) 堀越智・谷正彦・佐々木政子：図解よくわかる電磁波化学—(マイクロ波化学・テラヘルツ波化学・光化学・メタマテリアル)、日刊工業新聞社 (2012年)

### 【筆者紹介】

#### 堀越 智

上智大学 理工学部 物質生命理工学科  
〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町7-1  
TEL : 03-3238-3548  
E-mail : horikosi@sophia.ac.jp

#### 来田文夫

(株)サンルックス  
〒916-0019 福井県鯖江市丸山町3-5-25  
TEL : 0778-52-1311 FAX : 0778-52-9277

#### 中出義彦

(株)サンルックス  
〒916-0019 福井県鯖江市丸山町3-5-25  
TEL : 0778-52-1311 FAX : 0778-52-9277

## 日精樹脂、ハイブリッド式射出成形機をモデルチェンジ

日精樹脂工業(株)は、ハイブリッド式射出成形機「PNX/FNXシリーズ」をモデルチェンジした「PNX-IIIシリーズ」と「FNX-IIIシリーズ」を発売した。

新ハイブリッド式成形機には、電気式成形機「NEX」シリーズに搭載され好評を得ている高性能・高機能コントローラ「TACTIV」を搭載している。操作パネルはフラットシートとし、シートスイッチ方式を採用し、かつ、15インLSDの縦長配置画面で上下に2画面を表示できる。その他、ハイブリッド式成形機の特長としては、低圧型締性能に優れ常に設定通りの型締力の伝

達可能な直圧型締機構と、回転数制御のハイブリッドポンプシステム「Xポンプ」を搭載している点である。また、低圧成形システム「N-SAPLI」(オプション装備)の90日間お試し版ソフトをプリインストール。本ソフトは、同社が提唱してきた適正(低)型締力成形を進化させ、型締力設定を重要な成形条件の1つとして捉えて適正にコントロールすることに加え、射出時のピーク圧を低減させることで、複雑化した成形条件を簡素化して作業者の負担軽減とともに、成形機や金型の長寿命化、成形不良低減を実現する低圧成形法である。