

# 精密チューブ押出のツーリング・システム

*Tooling System for Precision Tubing*

ポール・ロビンズ\* Paul ROBBINS  
ケン・チェン\*\* Ken Chien  
訳：高木茂嘉\*\*\* Shigeyoshi TAKAGI

熱交換機器用途等に重要な材料であるアルミニウム精密チューブ材の押出は、合金が 1000 系、3000 系の軟質で低いフローストレス（変形抵抗）ながら、小型材が主となることから高い押出比、長い押出ピレットの使用による長いサイクルタイム、そして高押出速度により、押出中高い温度発生がある。加えて高い圧力を必要とするところから、ダミーブロックの外周を逆流しアルミニウムが後方側に堆積の懸念があり得る。

本稿ではこれらを少しでも払拭しようと、ハード的にはハイプレッシャー（高圧）ダミーブロック、ヒーター内蔵コンテナでの多層構造とタイア外周冷却、操業的にはダイスへのコーティングに加え、コンテナライナーとダミーブロック間のクリアランス量の制御（アクティブ クリアランス）を提案し、この分野での高度な品質と一層の生産性向上の達成に寄与するツーリングの重要性を説明している。

## はじめに

HVAC（暖房換気空調）あるいは自動車用ラジエーター、冷蔵庫に主に使用されるアルミニウムの精密チューブ（PT: Precision Tubing）のマーケットは、今や成長を遂げている。その理由は、アルミニウムは銅の約 1/4 の価格だからである。

精密チューブに使われるアルミニウム合金（一

般的には 3000 系あるは 1000 系合金）は、固相線温度が高くフローストレス（変形抵抗）がかなり低い。これら合金は、潜在的に高生産性のある長いピレットを使用して、薄肉厚で高押出比、長いランアウト長さ（接合部の少ないコイル）、そして高生産性をあげる高速度の押出を可能にする。

## 押出ダイス

精密チューブは、高速度、高押出比、通常 75 kg/mm<sup>2</sup> を超える高面圧で押出されるのが通例である。そこで押出合金はダイス出口を高い温度で通過し、この高い固相線温度であることから、

\* Castool Tooling Systems (Canada),  
Vice President/General manager

\*\* Castool Tooling Systems (Canada),  
Product Director, D.Eng.

\*\*\* テクノコンサル ベンチマークス、技術士（金属部門）

通常の H13 鋼のダイベアリングを急速に劣化させる原因となる。従って今日の PT/精密チュービングダイスは、CVD コーティングがされ、固有な設計とコーティング技術とが用いられている。

PT 産業にはコーティングダイスの供給で最もよく知られている、WEFA (ドイツ) によると、押出メーカーは最善のダイス加熱操業に従い、ダイスが高温度に保たれる時間を最小にする必要のあることが言われている。シングルセルダイス炉(一室タイプのダイス炉)は適切にデザインされ、潜在的に生じ得るベアリングの酸化を防ぐのに推奨される。

低フローストレス合金、特殊コーティングしたダイス、適切なダイス加熱に加え、PT 押出を一貫してトラブルなく生産するには、プロセスの連続した信頼性とハイプレッシャー・ダミーブロックをして高い固有面圧に順応できる、熱的に安定なコンテナが必要である。完全にカスタマイズした押出ツールシステムが無くては、生産性の最適化は覚束ない。

## 合金のフローストレス

端的に言えば、フローストレスは材料の変形に対する抵抗、あるいは微量な孔を通して押出をする尺度である。3000 系や 1000 系の合金グループは、フローストレスはより低く、0.5 mm 以下のダイス孔を通して押出することが可能である。薄い開口を通るこの押出性の容易さはまた、ダミーブロックとコンテナライナー間のギャップにもあてはまる。ダミーブロックとコンテナライナー間のギャップあるいはアクティブ クリアランスが正しくコントロールされないと、アルニウム合金はダミーブロックを越え後方へ押戻される。

## 後方への押出

ダミーブロックは、圧力のサイクル開始時のより高い圧力条件下では、ダミーブロックを超えて後方へ押出される(あるいは吹き出される)危

険無しに、コントロールされた条件の元で拡大・縮小して、安定した薄いアルミニウムスキン層をコンテナ内に生成する必要がある。後方への押出は、操業での温度条件と負荷される圧力の下では、ダミーブロックとコンテナの間のアクティブ クリアランスに依る。アクティブ クリアランスとは、押出中の真のクリアランス、あるいはコンテナライナー内壁に実際存在するスキン膜の厚さをいう。しかしながら、アクティブ クリアランスはまた、デザインにおいて設定された最初の冷間のクリアランス、即ち冷間でのダミーブロックと非圧力状態下の冷間のコンテナの径に依る。即ち非圧力状態下で、冷間ダミーブロックの径と冷間のコンテナライナー径の相違である。

この初期の冷間でのクリアランスは、精密チューブ押出に対してカスタマイズする必要があり、6000 系の従来タイプの合金の押出をする工場とは異なる。6000 系合金の操業での一般的な押出比は、40~60 が好ましい範囲と考えられているが、マイクロ孔を持つ熱交換器用、あるいは自動車のエアコンに適用する 1000 系あるいは 3000 系合金を生産する工場では、押出比は通常 400 を超えている。

高い押出比と最適なコイリングにするため長いビレットで押出をしたいことから、マイクロポート材の押出サイクルタイムは、通常の 6000 系合金に比較して長い。通常合金で約 1 分に対し 5~6 分と長い。そのためダミーブロックを超えて後方に吹き出される条件とアルミニウム合金がそうなる傾向は、これら両者の状況では全く異なる。

## ハイプレッシャー・ダミーブロック

市場で入手可能なダミーブロックの多くは、700 MPa (100,000 psi) の負荷力(あるいはプレス面圧)や 2 分以下のサイクルタイムの下では、満足のいく働きをする。しかし 825 MPa (120,000 psi) 程の高い負荷力や長いサイクルタ

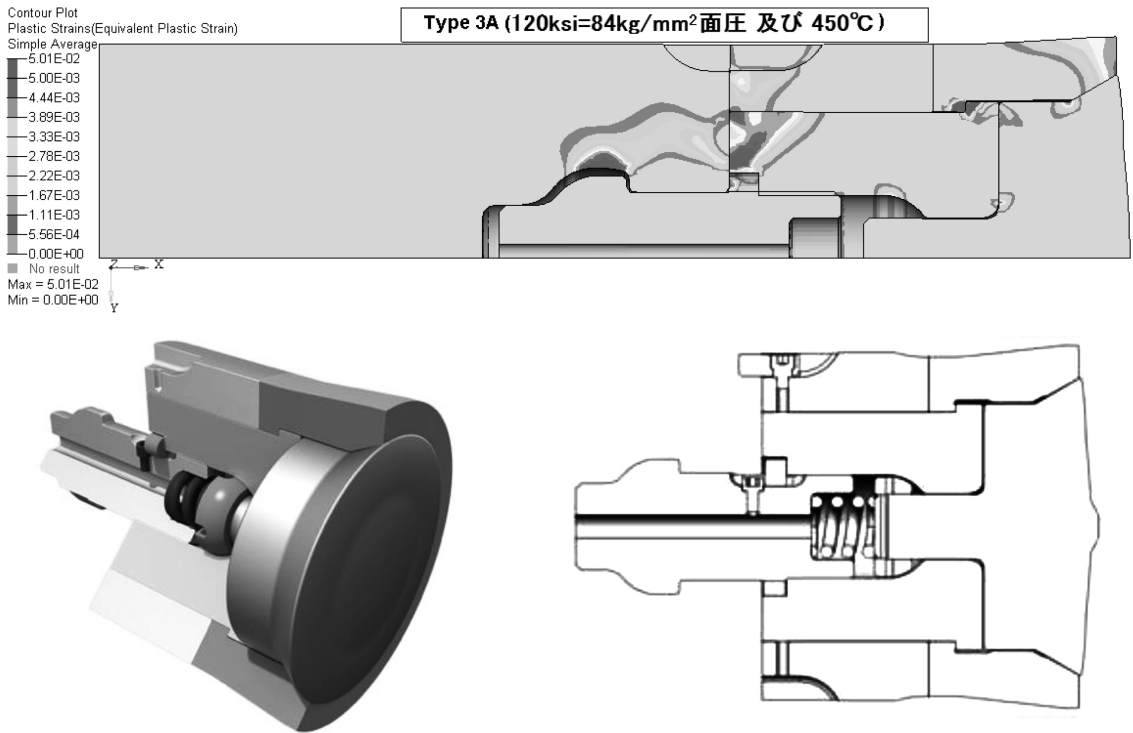


図1 高温度付加される高圧力に対応する改良ダミーブロックのデザイン

イムでは、標準ダミーブロックの永久降伏が問題となり、ダミーブロックの全体的な使用状態と機能とに悪化が生じ得る。リングの永久変形は、高い圧力では過大となり、結果としてダミーブロックは後退中コンテナ壁のアルミニウムスキンを取り除くため、後退における働きが充分でなくなる。その時のアルミニウム合金は、コンテナライナーが応力無負荷になって弛緩した後、コンテナのスキンからピックアップされる。

コンテナ内スキンからのアルミニウム合金が、ランド（ダミーブロックの摺動部）の後ろ側に集積し、結果としてバンプサイクル（エア抜き）中ダミーブロックがどう動作するかへの影響、押出材表面にブリストア（気泡）発生の危険性、またしばしばダミーブロックをクリーニングしたり交換する必要からプレスダウンタイム（非稼働時間）の発生が生じることになる。

図1に図示したハイプレッシャー（高圧）用ダミーブロックは、この大きなリスクに対応するた

めにデザインと製作がされた。負荷応力を減らすため、ダミーブロックの至るところでの負荷力と圧力分布を改善する他のデザイン特性と共に、コンポーネント同士の接触部を増やしている。負荷中の塑性歪を減少させる上での再設計の効果として、ブロックは825 MPa（12,000 psi）までの圧力に対して、また塑性降伏せずに長サイクルタイムを満たすことが示されている。

### コンテナのデザイン

コンテナは、PT 押出ではダミーブロックの様に同じ応力を受ける。圧力とサイクルタイムによっても影響を受ける。

### 3 ピース（3 層）コンテナのデザイン

プレスが、高押出比、高い温度で、より低いフローストレスのアルミニウム合金、1000 系及び3000 系グループの押出に用いられる場合、3 ピース（3 層）コンテナが推奨される。3 ピースのコ

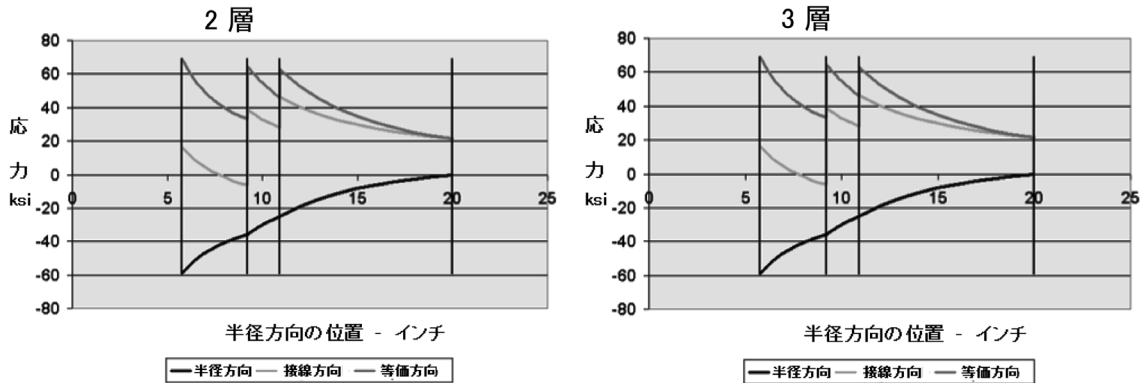


図2 多層構造はコンテナにおける相当応力を再分配する

ンテナアセンブリ——コンテナボディ（タイヤ）にしばしばアウターライナー（中間層）とも呼ばれるサブライナーを付帯——は、付加的なサポートと剛性を供するために用いられ、それにより操業の高い圧力下での変形を減少させる。

図2では、2ピース（2層）コンテナについて、相当応力が 110,000 psi（760 MPa）から 80,000 psi（550 MPa）までの低下を示す。3ピースコンテナ構造では、更に 65,000 psi（450 MPa）に減少する。計算では、3ピースコンテナは2ピースコンテナよりも強度のあることを示している。3ピースコンテナの強度は20%高く、押出中はたわみ変形は20%低くなることに相当する。

軟質で低フローストレス合金は、ダミーブロック周りのギャップに対しての感受性がより高いため、コンテナライナーとダミーブロック間を僅量のクリアランスに保つことが重要である。そのためコンテナとダミーブロック間のギャップが、よりよく確実にコントロールするため、付加的なサブライナーの支持と拡大を減少させる3ピースコンテナが、ハイプレッシャー・ダミーブロックの使用とともに、この状況において必要となる。

### コンテナ冷却

高押出比と高歪速度のため、PT 押出はコンテナにより大きい変形熱を発生する。そこで、プロセス制御をより良く達成するために、コンテナ

とプロセスの過熱を防ぐため、また速度ダウンが必要になることを防ぐために、付加的な冷却が必要である。

コンテナに冷却が施される時、伝統的にはコンテナボディ（タイヤ）内側あるいはライナーにスパイラル状の溝を機械加工し、ライナーの外周にエアを循環させる。エアは生来伝熱体としては劣っているので、冷却に使用するメディアとしては最も都合よく安全である。

図3に、押出中の典型的な熱バランスを示す。コンテナとダイスが温度一定に保たれていると仮定すると、ビレット熱  $A$  は変形中に  $B$  だけ増加、変形熱は押出力 vs 変位曲線の下側の領域 マイナス コンテナの摩擦に打ち克つに必要なエネルギーである。熱損失は、コンテナを通しての熱フローにより生じる。これらの合計、即ち  $(A+B)-C$  が押出において移動される熱となる。この多少単純なアプローチは、押出での熱量に加えるダイスでの発生熱を無視しているが、コンテナ、必要なら冷却のデザインによる、この式の重要な部分は、 $C$  が  $B$  と等しいか、超えることが可能に違いないことである。（外部にヒーターエレメントがある場合、式では  $C$  は正の項であり、ライナーの温度を上げる正味の効果を持つ。）

高い熱発生を持つ高生産性のプロセスを、しかも冷却が実際必要であることを認識すると、ライナーの外周の冷却よりも、コンテナボディの外部

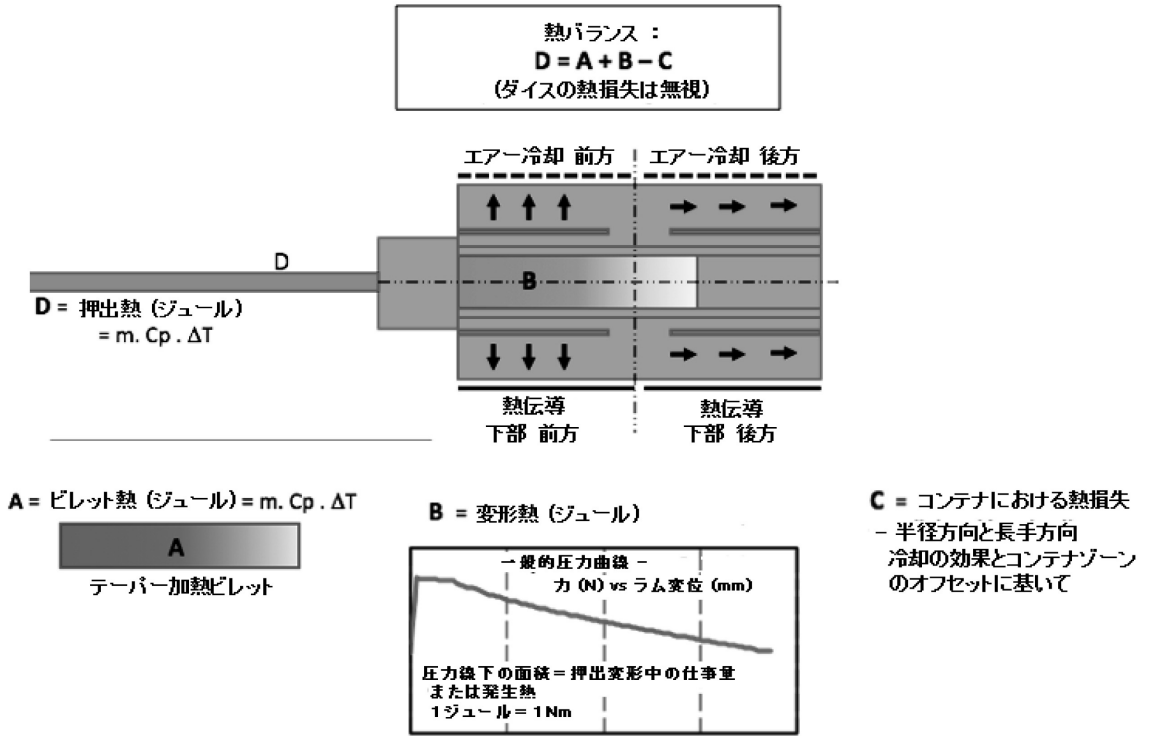


図3 コンテナが押出中の変形熱を除くことを可能にする必要性を示すヒートバランス

冷却をするコンテナの設計の方があり得る。コンテナを冷却すると、コンテナボディの至る所、半径方向及び長手方向の熱流束を乱していくが、その一方でコンテナの外側の冷却はそれを補っていく。2ゾーンで外側を冷却するコンテナのデザインを図4に示す。

コンテナのこのタイプのデザインは高い変形プロセスからの付加的な熱をうまく取り除き、長手

方向と半径方向のオフセットを用いることにより、コンテナのゾーン温度の設定を適切に選択すると発生するコンテナボディ内における熱流束の勾配を最適に展開していくことが出来る。

### アクティブ クリアランス

25 MN、8” フロントローディングの直接押出プレスの、実際押出圧力曲線を記録した。それか

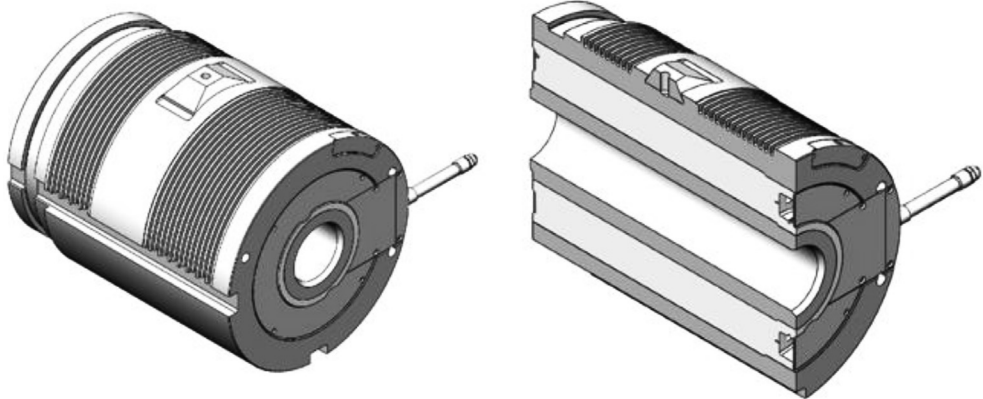


図4 QRコンテナにおける2ゾーンの外部冷却配置 —高生産性マイクロチュービング押出用にデザイン

ら、42” (1,100 mm) 長さの QR コンテナと新たに改良したハイプレッシャー ブロック (HPR) を用いたモデルにて FEM でプロセス解析した。予測したモデルの結果は、実際のプレスデータの 5%以内であるので、従って押出サイクルシミュレーション中のダミーブロックとコンテナにかかる圧力を予測する上で、モデルは受け入れ可能であり正確と考えた。5回の押出サイクルのシミュレーション後、コンテナとダミーブロックの拡がりのいずれも、自信をもって予測できる安定したプロセスと考えた。知見の結果を、動的なコンテナとダミーブロックの拡がりの間の違いに基づく、推定スキン層の厚さとともに図 5 に示す。即ち変化していく押出圧力のもとで、そしてダミーブロックが押出の開始からバット (ディスクカード) 長さに至る最終位置までコンテナ内を通過する時の熱的にメカニカルに混合した拡がりである。アクティブ クリアランス、アルミニウムスキン厚さは、常に約 0.008” (2 mm) である。

## 総括

幾年もの間、ダミーブロックは、一般的に 20,000 から 30,000 ビレットの押出後、ある程度使い捨てをするツール品として考えられてきた。しかしながら固有的に高い押出圧力を有し、アクティブ クリアランスの厳密なコントロールを必要とする精密チューブ押出の高い要求のもとで、標準ダミーブロックは適切に機能することがこれからはなくなり、1週間以下 (あるいは 4,000 ビレット以下) で交換される必要性があるかもしれない。それ故にこの特別なマーケットの固有なニーズに適応するためにデザインされた最適なダミーブロックが、最適なプロセスコントロールで高度な品質と生産性向上の達成を可能にするツーリングの重要なアイテムである。

加えて、熱的に安定で構造的に健全なだけのコンテナが、コンテナにおける有効な熱勾配を最大化するために、コンテナボディ (タイヤ) に外部冷却を取り込むことによって、そしてダミーブロッ

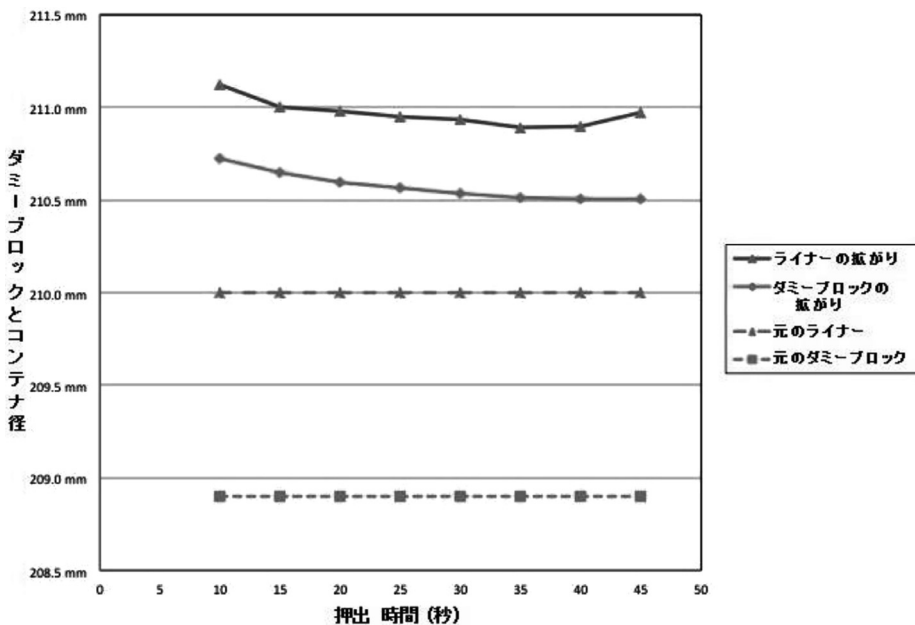


図 5 押出条件下のコンテナの拡張、ダミーブロックの拡がり、そしてコンテナ内スキン層厚さのモデルに依る予測

クとコンテナ間のアクティブ クリアランスのコントロールをより良くするため、サブライナーを使用することにより 1000 系合金と 3000 系合金で熱交換器や自動車の気候制御チューブを生産する、高い生産性を持つ押出メーカーの要求に応じることが可能になる。