

## 新型ゴム脱水機の開発とその適用例

## Development of New Rubber Dryer and its application Examples

木村 嘉隆  
Yoshitaka Kimura稲川 憲司  
Kenji Inagawa岡本 明久  
Akihisa Okamoto

## 要 旨

従来から、合成ゴムの脱水用途として脱水乾燥装置が使用されており、当社でもSDU (Squeezer)とVCU (Expander)を販売している。1969年にSDU、VCUの製造を開始し、国内外の合成ゴムメーカーへ数多く納入してきた。このたび、合成ゴム脱水乾燥装置の高性能化、省スペース化を実現するため、SDUとVCUの両装置の機能を兼ね備えた複合機である新型ゴム脱水機を開発した。この装置により、合成ゴム脱水プロセスにおける機器の更なる省エネルギー化が可能である。本報告では、新型ゴム脱水機完成までの経緯、テスト機(R90DE)を使用した運転事例をもとに、その機能と特徴を紹介する。

## — Synopsis —

As the conventional technology, special rubber dryers to dewater and dry Synthetic rubber including water, JSW has been selling SDU (Squeezer) and VCU (Expander) in the world. The manufacturing has been started since 1969, and they have been delivered for many Synthetic rubber manufactures. Recently JSW has developed a new rubber dryer having both functions of SDU and VCU in order to realize high performance and small foot print. This dryer also allows us to expect saving energy for this application. The unique functions and advantages for this new rubber dryer based on the trial experiences using a laboratory dryer R90DE and development history are given in this report.

## 1. 緒 言

合成ゴムおよびエラストマーの製造における脱溶媒方式では、スチームストリッピングが広く採用されている。この方式では、製造工程で大量の水を含んだ合成ゴムが精製されるため、脱水乾燥(分離)工程が必要となる。その工程に使用される装置は、スクイザーやエキスパンダーなどの単軸押出機の組み合わせが一般的である。

一方、近年ではプロセスの合理化に伴い、省エネルギー・高処理量・省スペースや運転の容易化といったゴム用脱水乾燥機の性能向上に対する要望が増している。これらに応えるため、当社では従来使用されていた単軸押出機構造のゴム用脱水乾燥機の構造やプロセスを見直し、要求値を具現化させるための新型ゴム脱水乾燥機を開発を推進してきた。

本報では、新たに開発したゴム脱水乾燥機における脱水乾燥技術の紹介と今後の展望を述べる。

## 2. 従来の合成ゴム脱水乾燥装置

従来の代表的な合成ゴムの脱水・乾燥設備には、米国ウェルディング社の装置がある。同社は、1946年始めにパイロットプラント用としてゴム脱水乾燥機を製作納入して以来、今日に至るまでに数々の合成ゴムを対象とした脱水乾燥機の開発と改良を行っている。当社では、本事業に参入するために1969年に米国ウェルディング社から技術導入を行い、1970年代から今日に至るまでに合成ゴム脱水・乾燥装置を製造販売し、数多くの納入実績を有している<sup>(1)</sup>。

この脱水乾燥システムは、合成ゴムおよびエラストマーの水スラリー(含水率50~90%)から固形分(含水率0.5~2.0%程度)を得るために、まずスクイザーにてスクリュの圧縮と絞り機構を利用した強制的な水の圧搾分離を行う。その後、エキスパンダーにて固形分をスクリュ搬送しながら加熱圧縮し、ダイスのノズルから吐出させる際に減圧発泡さ

せることでさらなる脱水を行う。含水率が0.5～2.0%程度まで低下した吐出樹脂は、その後乾燥機を経ることで、最終的に含水率0.1～0.5%程度の押出物を得ることができる。上記スクイザーとエキスパンダーとは一般的に呼称であり、各社それぞれ特徴の異なる装置が提供されているため、当社ではスクイザーとエキスパンダーのそれぞれをSDU (Slurry Dewatering Unit) およびVCU (Volatiles Control Unit) と呼んでいる。

エキスパンダーのダイスから押し出される発泡状態の合成ゴム・エラストマーは、ペレタイザーで数ミリメートルのサイズにカッティングされ、熱風振動コンベアにて最終乾燥することで0.1～0.5%程度の含水率まで減少させた後に、ベラーにて所定のサイズ・重量に圧縮加工しフライアブルペール (空孔を含む板状の合成ゴム加工原料) を得る。

図1および図2に、SDUとVCUそれぞれの概略図を示す。

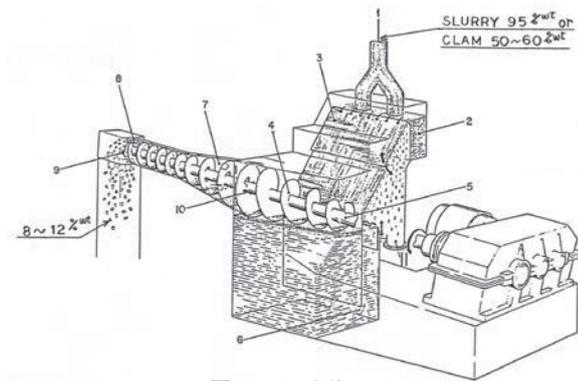


図1 スクイザー SDU

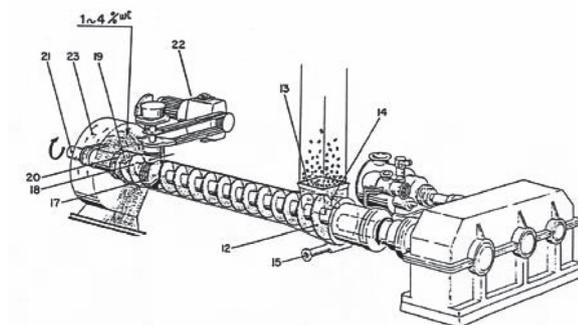


図2 エキスパンダー VCU

### 3. 脱水・乾燥プロセスの合理化

一般的な合成ゴム・エラストマーの重合プロセスは、乳化重合と溶液重合に大別できる<sup>(2)</sup>。重合後から脱水乾燥プロセスに至るまでにはそれぞれ異なるプロセスを経る。以下にそれらの概要を説明する。

図3に乳化重合の合成ゴム製造プロセスを示す。これは、一般に水などの媒体と、媒体に難溶なモノマーと乳化剤とを混合し、媒体に重合開始剤を加えて行う重合法であ

る。高分子(ポリマー)は、微粒子が水等の媒体中に分散したエマルジョン(ラテックス)として得られる。得られたエマルジョンは、酸もしくは塩などを添加することで高分子の微粒子が凝固する。次に、媒体に残留している酸あるいは塩などを水で洗浄した後に、SDUとVCUによる脱水乾燥工程を経て製品となる。

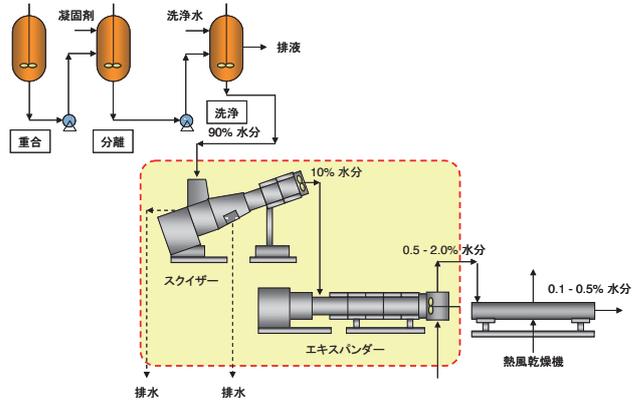


図3 ゴム製造プロセス例(乳化重合)

図4に溶液重合による合成ゴム製造プロセスを示す。これは、モノマーを溶媒に溶かした溶液に可溶性触媒を加えて重合させる方法で、ポリマーは溶媒に溶解した状態で得られる。この溶液状高分子に含まれる溶媒は、熱によって乾燥除去されるが、この際にスチームが利用されることが多い。スチームの熱で溶媒を揮発させる工程はスチームストリッピングと呼ばれるが、溶液から析出したクラム状の高分子に溶媒乾燥の副生成物である多量の水が付着する。そのため、これらを製品とするためには脱水・乾燥の工程が必要となるため、SDUとVCUを利用したプロセスが適用される。

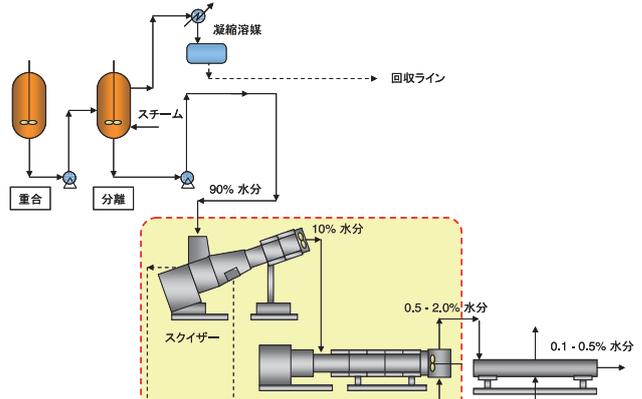


図4 ゴム製造プロセス例(溶液重合)

上記のとおり、SDUとVCUを用いたプロセスの歴史は長く、現在もなお多くのユーザーのもとで稼働している。ただ、近年では省エネに対する要求が急速に増しており、かつ熟練者の退職に伴う若年層への技術伝承の課題から合理化・高効率化も求められるようになってきている。

#### 4. 新型ゴム脱水機の開発

当社では、従来のSDUとVCUによる合成ゴム脱水乾燥システムの機能を最大限に生かした新型ゴム脱水機の開発を目標に掲げ、そのラボ機である新型ゴム脱水機R90DEの製造に着手した<sup>(3)(4)</sup>。2015年3月に当社技術開発センター押出棟に新型ゴム脱水機の第一号機を導入した(写真1)。この新型ゴム脱水機は、実際のゴムスラリー原料を使用した性能確認実験装置であり、脱水機バレルには複数の圧力計や温度計が設置され、スクリュウ回転による内部圧力バランスと温度変化が測定できる。また、バレルの傾斜角度が0°から20°まで調整可能となっており、脱水効率と傾斜角度の関係を把握することが可能である。



写真1 新型ゴム脱水機 R90DE

この新型ゴム脱水機の最大の特徴はスクイザーであるSDUと、エキスパンダーであるVCUの機能を兼ね備えた複合機となっていることにある。これにより、2台分のプロセスを1台の装置でカバーできるため、省スペース化が実現できるほか、省エネルギー化や、機械の扱いやメンテナンスが容易になるといった多くのアドバンテージを有する。

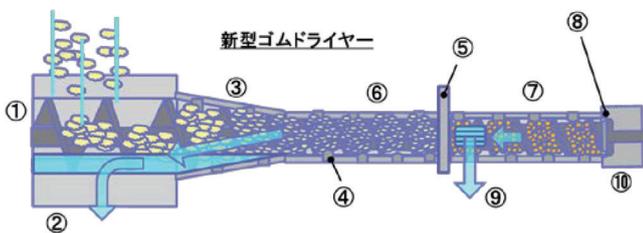


図5 新型ゴム脱水機概略図

図5に新型ゴム脱水機の概略図を示す。スラリー状の原料ゴムクラムはスラリーフィーダタンク①に送られると、フィーダタンク下部に設けられたスリット②から遊離水が排出される。フィーダタンク内の水位はフィーダタンク横に設置された堰板の上下により調整が可能であり、原料の品種やフィードの状態によってその最適水位を決定する。基

本的にスラリー中のゴムはフィーダタンク内に溜められた水の上に浮いている状態であり、下部のスリット部へのゴム詰まりが発生することはほとんどない。

新型ゴム脱水機のフィーダ部は、多くのスラリーが食い込みやすいように溝深さが大きな大口径スクリュウを採用し、空間ボリュームを増やした構造になっている。フィーダタンク内の水面上のゴムをスクリュウ③で搬送し、その下流でゴムの圧搾を行う。圧搾は、加圧スチームで加熱したバレルからゴムを加温し、スクリュウ口径を徐々に小さくし空間ボリュームを減少させることで強制的に実施される。ここで、原料の推進力を上げると同時にゴムのスクリュウへの巻き付きを防止するために、バレル数箇所にバレルピン④が設置される。また、機械的圧搾をコントロールするために上下2分割されたゲートバルブ⑤を設けており、このバルブ開度調整にて内圧をコントロールし、ゴムへの圧搾度合いを調節することができる。圧搾によって分離された遊離水は、バレル内を伝い上流のフィーダタンクへ戻ってからバレル外へ排出される。このフィーダ部からゲートバルブまでの領域⑥が、スクイザーSDUの役割を果たす。脱水されたゴム水分は、この時点で約10%前後となる。

ゲートバルブを通過したゴムは、エキスパンダーの役割を担う領域⑦に入る。この領域でも、ゴムはバレルからの熱により加温され、スクリュウの溝深さ変化により加圧され、更に下流に搬送される。バレル先端部には圧力調整ダイ⑧が取り付けられている。ダイは、2枚の多孔を持つ円盤のお互いの位置を変化させることでゴムが通過する流路面積の調整が可能で、スクリュウ先端部での圧搾効果を調節することができる。圧搾された遊離水は先端の圧力により上流側へ戻され、上流側に設けられたスリット⑨から遊離水もしくは蒸気の状態では排出される。

先端部圧力調整ダイから排出されるゴムは一気に圧力開放されることで、エキスパンド(発泡)状態となり、乾燥効果が促進される。この時点で、ゴムの含水率は1~4%となり、乾燥後のゴムは脱水機先端部に設けられたカッティング装置によりペレットもしくはクラム化される。

また、スクリュウ先端はベアリングでサポートされており、高粘度ゴムによるスクリュウ振れが要因となるスクリュウとバレルとの接触リスクを低減し、安定した駆動が可能な構造となっている。

表1にR90DEの主仕様を、図6に試験機R90DEの装置フローを示す。

表1 試験機R90DE主仕様

##### R90DE スクイザー・エキスパンダー複合機

Screw diameter	Φ90mm / Φ170mm(上流6.0Dのみ)
L/D	28.5(Φ90mmベース)
Screw speed	-150 rpm(トルク一定) -190 rpm(パワー一定)

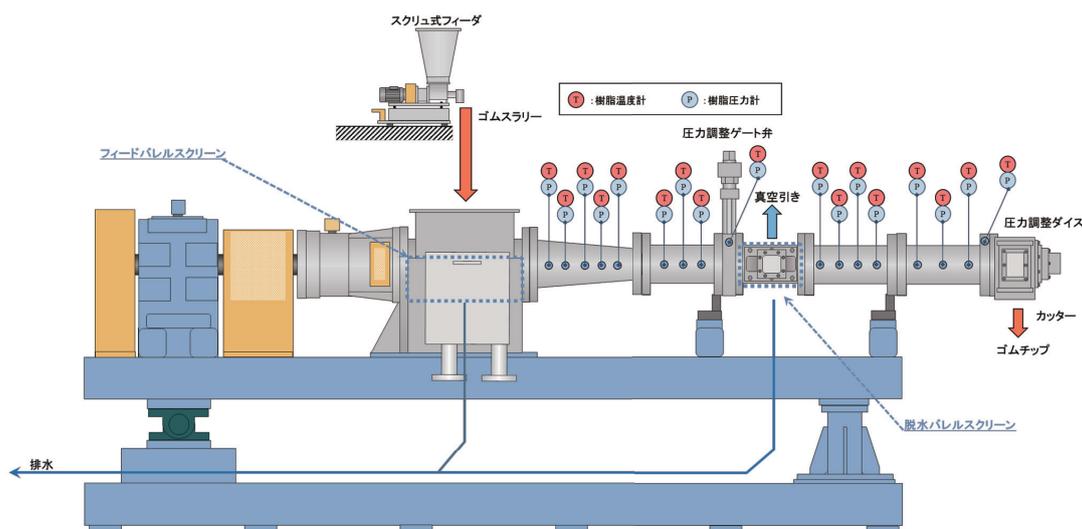


図6 試験機 R90DE 装置フロー

### 5. 新型ゴム脱水機の適用事例

技術開発センターへ新型ゴム脱水機 R90DE を導入して以来、これまでに数多くの評価実験を繰り返してきた。実験に使用した合成ゴムの種類としては、SIS、BR、SBR、SBS、フッ素系ゴムなど様々である。多くの原料において、当初の目標である5%以下の残留水分率（これはVCU出口での残留水分率相当）を達成している。以下では、多くの実験の中から一種類のゴムスラリー原料を脱水した実施例について述べる。

スラリー状態のゴムは、50%の水分を含んだ状態で新型ゴム脱水機に投入される。新型ゴム脱水機で圧搾されたゴムは最終的には2～3%水分まで乾燥されて排出される。この時の最大処理能力は400kg/hで、ゴム排出温度は120～150℃であった。ダイ部でエキスパンドにより発泡クラムを製造することは、ダイ出口部分での乾燥効果を向上させるだけでなく、新型ゴム脱水機後の最終的な絶対乾燥工程の効率にも大きく寄与する。通常、絶対乾燥工程ではFBC (Fluid Bed Conveyor) と呼ばれる熱風振動乾燥機 (図7) が使用されるが、発泡することにより比表面積が大きくなったクラムを使用することで、飛躍的に乾燥効率が向上する。そのため、乾燥時間の短縮による省エネルギー化が可能となる。写真2は発泡状態のクラムを示す。本形状はダイの形状を十字型とし、より表面積を増やす工夫を行っている。

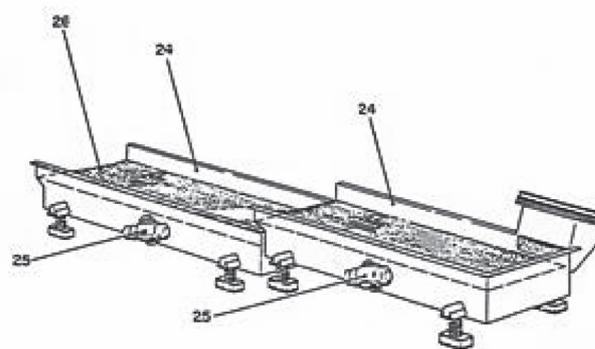


図7 熱風振動乾燥機 FBC 外略図



写真2 発泡クラム

表2に実験結果のまとめを記載する。

表2 実験データまとめ

Test No.	Q	Ns	Q/Ns	含水率
-	kg/h	rpm	-	%
1	200	50	4.0	3.0
2	200	100	2.0	1.5
3	400	100	4.0	2.5
4	400	200	2.0	2.0

### 6. 新型ゴム脱水機の更なる用途展開

これまでの新型ゴム脱水機による実験を行った結果、排出ゴムの水分率は1～5%となることが分かっている。

これは、従来までの脱水装置であるSDU + VCUの最終水分率と同レベルである。これを絶対乾燥レベル(1%以下)まで乾燥させるためには、前項で述べた乾燥機が必要になる。しかし、更なる効率化を要求するユーザーも少なくない。その要望に答えるために、新型ゴム脱水機+単軸押出機もしくは二軸押出機といったタンデムタイプのシステムを提案している。新型ゴム脱水機で5%以下まで脱水された合成ゴムは、連続的に単軸もしくは二軸押出機に投入され、押出機のスクリュ回転によるゴム表面の脱揮面積助長効果(表面更新効果)によって、蒸発した水分を真空ベントによって効率的に完全脱揮するシステムとなる。

また、新型ゴム脱水機の先端構造はあくまでペレットもしくはクラムを製造する構造となっており、ペレット/クラム以外の例えばシート状の製品を製造することは不可能であるが、新型ゴム脱水機の下段に前記押出機を設置することで、下段の押出機をシート化装置として使用することも可能となる。新型ゴム脱水機の役割は「脱水」、単軸/二軸押出機の役割は「乾燥」「最終製品化」となる。図8に新型ゴム脱水機+単軸/二軸押出機の装置フローを記載する。

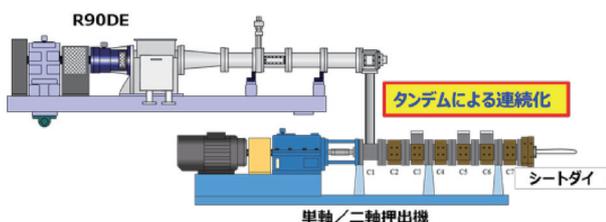


図8 新型ゴム脱水機+押出機装置フロー

### 7. 新型ゴム脱水機の性能 (SDU、VCU との比較)

新型ゴム脱水機の開発以来、従来型であるSDU、VCUとの性能比較を行ってきた。表3にこれらの性能比較表を記載する。

表3 新型ゴム脱水機性能比較表

	新型ゴム脱水機	従来型ゴム脱水機
設置スペース	小さい	大きい
脱水能力	高い	高い
脱揮能力	低い	低い
ゴム温度	低い	低い
機械的安定性(カジリ)※	安定	比較的安定
混練能力	低い	低い
メンテナンス	やや困難	やや困難
フレキシビリティ	高い	普通

上記比較を行うことでより明確となった、新型ゴム脱水機の利用メリットを以下にまとめる。

- ・高い生産性

- ・省エネルギー
- ・省スペース
- ・短い滞留時間(処理時間が短い)
- ・低温押出(エキスパンダーと同等)
- ・発泡製品(エキスパンダーと同等)
- ・容易なメンテナンス性
- ・安全な運転性(スクリュへの巻き付き無し)

### 8. 結 言

本報では、新型ゴム脱水機を使用した合成ゴム製造における、合理化され、省エネルギーで、低コストかつ安全性の高い脱水・乾燥技術の開発事例の紹介と、新たな使用方法の可能性について概説した。

今後、この新型ゴム脱水機を使用した合成ゴムの分離プロセスは、合理化と省エネルギーによるコストダウンが実現できるため、合成ゴム製造メーカーのみならず、プラスチックメーカーへもその広がりを見せる可能性を有している。

この分離プロセスにおける更なる脱水・脱揮技術の開発を継続的に実施することで、一層高度な技術を新型ゴム脱水機の導入を推進していく。それにより、今後ますます高度化する省エネルギー、環境負荷低減に対する要求へ積極的に対応してゆく所存である。

### 参 考 文 献

- (1) 日本製鋼所製品紹介, No.28, “合成ゴム乾燥装置”(1970)
- (2) 重化学工業通信社, “化学品ハンドブック”(2017)
- (3) 高見信安, 松永和行, 吉岡邦雄, 川合伸和, 栗原正夫, “ポリマーの回収方法”, Japanese Patent 特許第 4723701号 (2011)
- (4) 清水陽平, 東定誠, 半田清, 佐賀大吾, 岩本圭彦, 柿崎淳, 井上茂樹, 日本製鋼所技術報告 No.62, “ゴム脱水用押出機 の開発と今後の展望”(2011)