

# 超高精度粉粒体定量供給システムの開発

Development of Ultra Accurate Particulate Constant Feeding System

塩崎修司\* 守屋利章\*

Shuji Shiozaki, Toshiaki Moriya

当社は粉体機器の設計・製作・販売で70年以上の歴史を持ち、今では80機種以上の製品をラインナップし、機種が多さや粉体機器の売上高では、日本国内でもトップクラスにある。当社の粉体機器の特徴は、顧客の製造ラインを考慮し、生産性の高い連続式機種を数多く扱っていることにある。連続粉体機器から生み出される粉体の特性は粉体機器の性能に依存することはもちろんであるが、その粉体機器に供給する原料の供給精度にも依存する。また顧客は、高付加価値の粉体製造を志向しており、ますます粉粒体の供給精度は重要な要素になりつつある。今回、顧客ニーズに合わせて今までにない、飛躍的に供給精度を高めた粉粒体供給システムを開発したので報告する。

KURIMOTO has more than 70 years history in designing, manufacturing, and sales of powder equipment. We have more than 80 models, which made us a top class company in variety of models and in sales of powder equipment in Japan. Large numbers of our powder equipment are continuous processing type with excellent productivities, because we manufactured them for our customers' convenience, taking their production lines into account. The performance of the continuous processing powder equipment determines the characteristics of powder. However, the accuracy of material feeding to powder equipment also determines the characteristics of powder. Our customers' trend toward the powder production with high added-value has been making the feeding accuracy of particle more important factor. This time, we have developed the particulate feeding system with dramatically improved accuracy according to our customers' needs.

## 1. はじめに

ハイブリッドカー、電気自動車等の環境対応車向けに注目されている二次電池の量産化に対応し、原料配合比のバラツキによる品質/安全上の懸念から従来、回分式が主流であったペースト混練工程の連続化を図るべく粉体原料の供給精度を格段に高めた「超高精度粉粒体定量供給システム」を化学装置事業部、機械事業部、技術開発本部共同で2009年7月より、開発に着手した。

従来、回分式が多かったリチウムイオン電池をはじめとした二次電池、電子材料分野、医薬分野などの製造設備にも当社が得意とする「連続粉体処理機器」と今回開発した「超高精度粉粒体定量供給システム」の組合せによる連続量産化設備の導入が可能となる。

現在、1兆円市場と言われるリチウムイオン電池世界市場は2020年には3兆円市場に、リチウムイオン電池搭載車の市場規模は700万台以上に拡大すると予測されている。電気自動車1台当たりのリチウムイオン電池搭載量は携帯電話の1万倍と言われ、今後も拡大を続ける市場である。

生産現場では手間のかかる回分式に比べて連続式は省力化が図れるほか、24時間操業ができるなど、メリットも大きい。精密な処理が必要な分野では回分式ほどの供給精度が取れないなどの欠点があり、リチウムイオン電池、電子部品、医薬、化学等の付加価値の高い製品を扱う顧客からは難色を示されることが多かった。よって供給精度を飛躍的に高めることができれば、これら回分式でしか出来なかった製造設備は一気に省力化が図れることになる。

## 2. 開発コンセプト

開発コンセプトとして以下の項目を達成すべく開発に取り組んだ。

- ・従来よりも桁違いに精度を高めた供給システムを開発する。(目標値±0.5%)
- ・常時計測を行い、供給状態を監視する。
- ・24時間連続安定定量供給を達成するために自動補正機能を設ける。
- ・脈動のない連続供給を達成する。
- ・分解・洗浄が容易な構造とする。

表1 開発コンセプトのまとめ

	従来型粉粒体供給システム	開発粉粒体供給システム
供給精度	±1% (60秒平均)	目標±0.5% (10秒平均)
システム	ロス・イン・ウエイト式 (ロードセル)	精密電子天秤 (電磁力平衡式)
計量方法	断続計量	連続計量
秤量器分解能	1/10,000 (最小目盛5g)	1/1,000,000 (最小目盛0.005g)

\* 機械システム事業本部 化学装置事業部 エンジニアリング部

### 3. 従来の粉粒体供給システム

従来の粉粒体供給システムは大別して図1、2、3、に分類できる。それぞれ長所、短所はあるがいずれの場合も供給精度を±1%以内に保つことは難しく、それを保証することは従来のシステムでは難しい状況である。

#### 3.1 ロス・イン・ウエイト式定量供給システム

ロス・イン・ウエイト式定量供給システムは、現在販売されている粉粒体定量供給システムでは最も精度の高い制御方法であると評価されている。(図1参照)

このシステムは、フィーダ全体の重量を測定し、フィーダによって切出されるホッパ内の原料の減少量の推移を測定して切出し量を計算し、その値が一定になるようにフィーダの可変速モータを制御する仕組みである。

ただし、これには欠点もあり、ホッパ内が空になればホッパに原料を充填する必要がある、その間は制御が出来なくなる。またフィーダとホッパを合わせた比較的大きな重量を測定するロードセルを使用すると測定機器の最小目盛も大きくなるため、切出し精度は±1% (60秒平均値) 程度ではあるが、比較的精度を要求される切出しに良く用いられている。

#### 3.2 コンスタントフィードウエア

コンスタントフィードウエアはベルトフィーダとロードセルを組合せた計量方式でベルトフィーダのベルト裏面にロードセルを設置し、一定長さのベルト上の原料の重量を測定するものである。(図2参照)

ベルト上の原料の重量が分かればベルトの速度から切出し量は計算で測定できる。この計算切出し量が一定になるようにベルトフィーダの可変速モータの回転数を制御するのがコンスタントフィードウエアである。

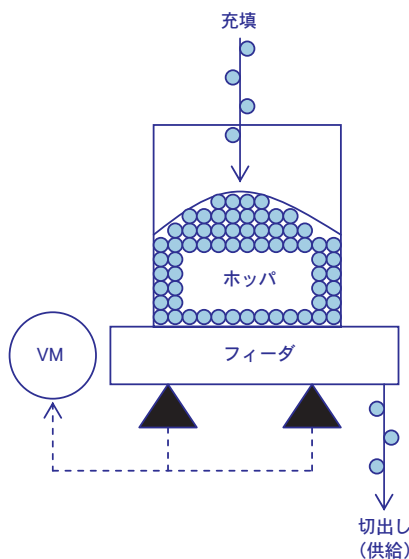


図1 ロス・イン・ウエイト式定量供給システム模式図

このシステムはロス・イン・ウエイト式とは異なり、常時計測、制御が可能である長所を持つ反面、ベルト自身の重量やベルトテンションに影響されるため、切出し精度は良いとは言えず、通常±5% (60秒平均値) 程度の誤差を生じる。

#### 3.3 粉体流量計による方式

計測機器の発達によって粉体の流量を直接、計測器によって測定し、その値が一定になるようにフィーダの可変速モータを制御する方法がある。(図3参照)

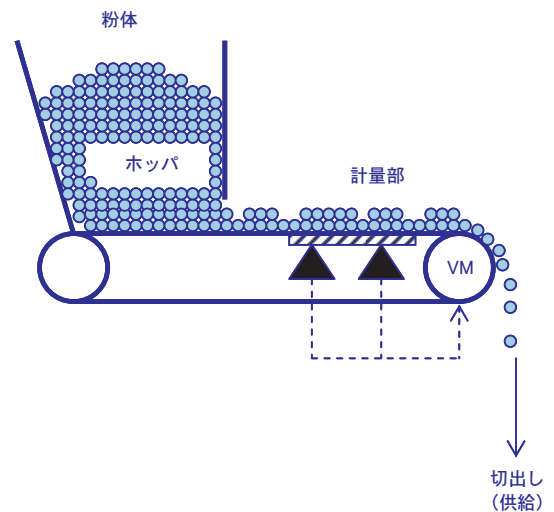


図2 コンスタントフィードウエア模式図

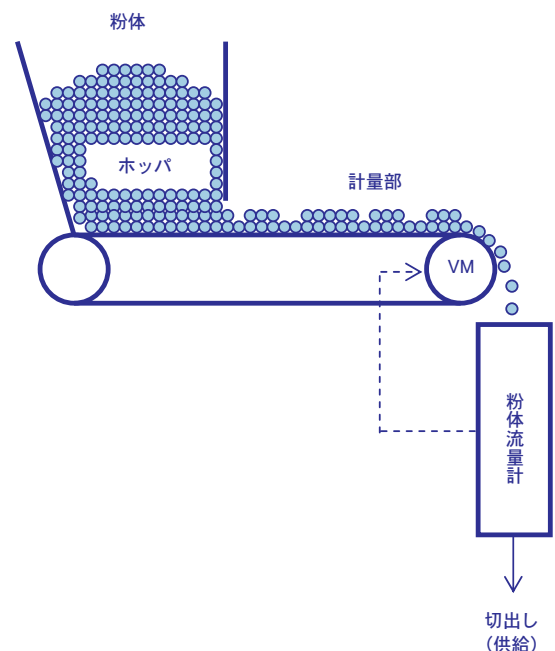


図3 粉体流量計方式模式図

計測器には粉体の静電気を測定する静電容量式や落下してくる粉体を反発板で受け、その衝撃力を測定することにより粉体の流量を測定する方法がある。

コンスタントフィードウエアと同様に常時計測できる長所はあるが、静電容量式は湿度、温度、粉体の水分、粒度、成分などの変化に影響を受け安定的に流量を測定することが難しい。また反発板方式も同様に粉体の粒度、比重などの原料の物性に影響されるため安定的とは言えない。これらの方式も通常 $\pm 5\%$  (60秒平均値)程度の誤差を生じる可能性があり、高い切出し精度を要求する用途には使いにくい。

#### 4. 新開発粉粒体供給システム

今回新開発したシステムは高い切出し精度を従来以上に維持しながら、且つロス・イン・ウエイト方式の欠点であった断続計測を解消し常時計測を可能にしたシステムである。(図4参照)

プレフィーダから切出された原料は高精度の計量器によって計量フィーダごと重量が計測され、計量フィーダに乗っている重量と計量フィーダのベルトスピードから切り出し量が測定される。その切り出し量が設定値に合うようにプレフィーダの可変速モータが制御される。

この方式の場合、ロス・イン・ウエイト方式の様にホップの重量を考慮に入れる必要がないことと、計量フィーダは計量するという役割の他に単に搬送機の役割になうだけのため、軽量化が可能である。その結果、ロードセル方式ではなく、桁違いに精度の高い電磁力平衡式の計量器の採用が可能である。(図5参照)

この方式は精密電子天秤などに使用されるが、粉体機

器の制御に応用されることは実験機を除いて今まであまり例がなかった。

今回、本システムに電磁力平衡式の計量器を採用したことにより、ソフト的には飛躍的に精度が向上できる可能性が開けた。

ただし本システムの欠点として計量フィーダに何らかの付着物が発生した場合、計量器は付着物も計量フィーダ上にある切出し原料であると認識され、切出し量の表示に誤りが出る可能性がある。これを防ぐために本システムではプレフィーダでも計量器による計量をし、計量フィーダの計量値とクロスチェックを行い、大きく異なる場合は警報を発すると共に計量フィーダの計量値を補正する機構を設けている。(図4参照)。図6に本システムの標準的なフローを示す。また、図7は現状の実験機の外観である。

#### 5. 実験方法および結果

実験方法は、プレフィーダにあらかじめ原料(砂、タンカル)を充填し、制御盤に投入量の設定値を入力後、各機器を順次起動して切出し量の推移を連続的にモニタリングした。

また設定値は12kg/hに統一し、データサンプリングは0.5秒毎で実施した。

今回新開発したシステムの実験結果を図8～13に示す。図8～12の実験はいずれも原料として砂(0.15～0.60mm)を用い、図13はタンカルを用いて実験している。

図8では60秒の移動平均値、10秒の移動平均値と設定値との誤差を計算しているが60秒の移動平均値の場合、約5分ではほぼ収束する。

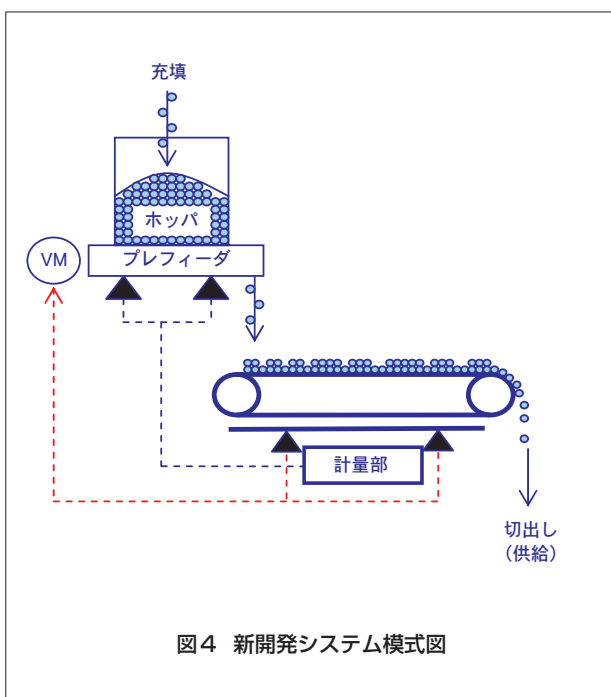


図4 新開発システム模式図

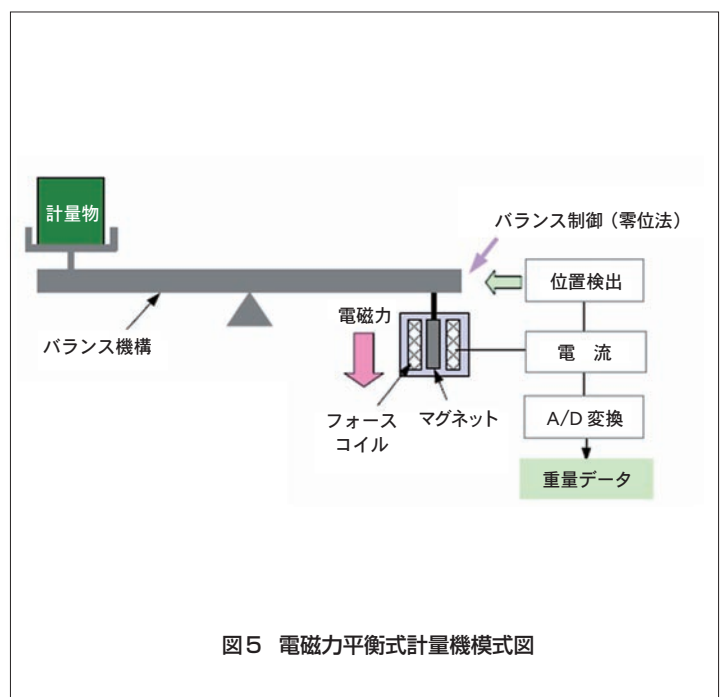


図5 電磁力平衡式計量機模式図

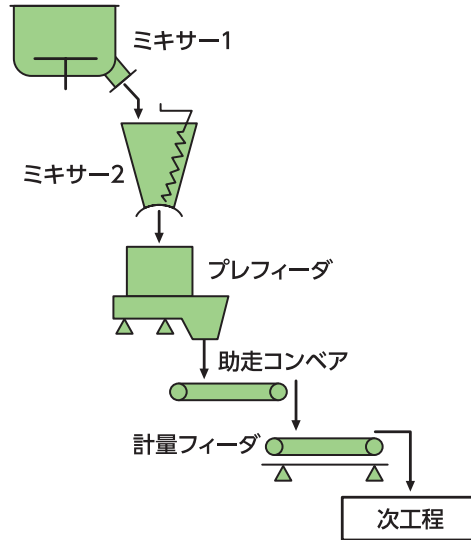


図6 超高精度粉粒体定量供給システム実験機フロー

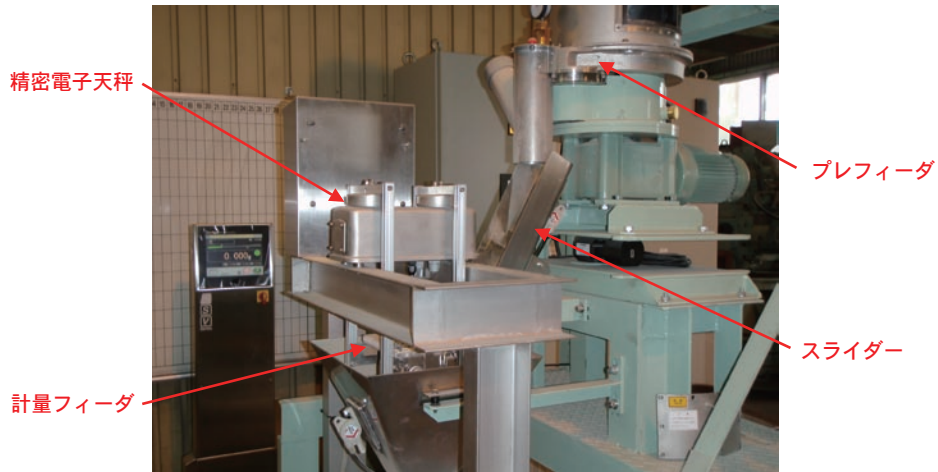


図7 実験機外観図

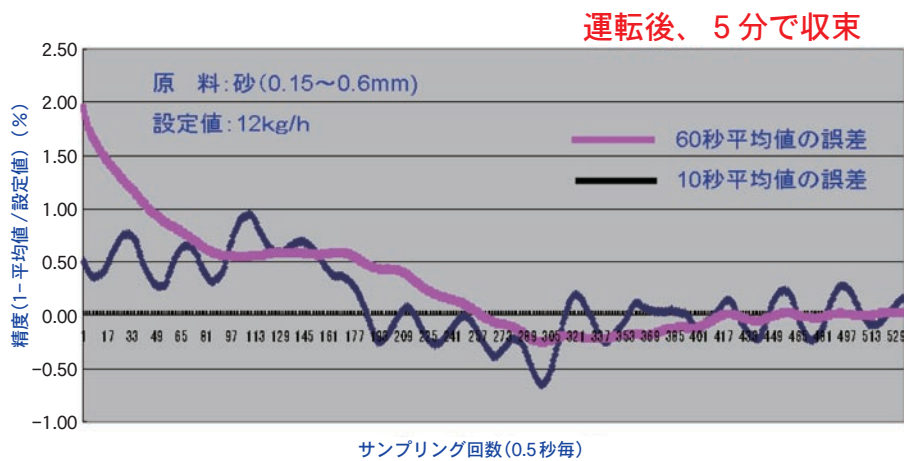


図8 運転後の収束時間

図9は、収束した時点での10秒移動平均値と設定値との誤差を示しているが、誤差の大きいところでも±0.4%であり、開発目標とする0.5%は達成している。

図10は、収束した時点での60秒移動平均値と設定値との誤差を示している。誤差範囲は+0.12～-0.055%の範囲に収まっており、従来、ロス・イン・ウエイト方式で常識的には±1%の誤差範囲であったものが、本システムの場合、桁違いに精度が向上することが分かる。

しかし、制御が本当に効いているのか確認するために図11ではプレフィーダの回転数を一定にし、誤差範囲がどうなるかを確認した。この場合、12kg/hを狙って回転数を設定したが切出し精度誤差は+4～-1%まで振れて収束することはなかった。このデータから、当たり前なことではあるが、制御しなければ、一定の切出し量は、維持できないことが分かる。

また、計量フィーダの計測値が実際に計量フィーダから出てきた原料の実測値と合致するのを確認した実験結果が図12である。実測値は実際に計量フィーダから出てきた原料を電子台秤で計測した値である。このグラフから計量フィーダの計測値と実測値とはほぼ合致するのみならず、計量フィーダの誤差の振れも実測値とほぼ合致している。また計測値と実測値で誤差の振れが多少、時間軸方向でずれている(約3秒)のは計測する時間に約3秒のタイムラグがあるためで理屈に適っている。

しかしながら付着性の少ない砂では好結果を得られる本開発システムも、付着性の高いタルク微粉(-45μm 99.8%)を使用した場合、精度誤差は60秒移動平均値で±0.5%となる(図13参照)。これはプレフィーダの切出し精度の影響が大きく、今後、ハード面の改良が必要であると考えられる。

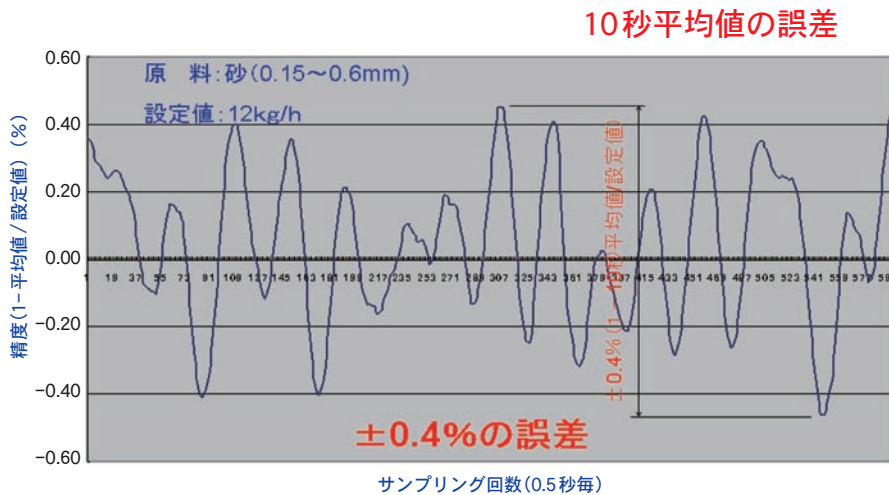


図9 10秒移動平均値の誤差

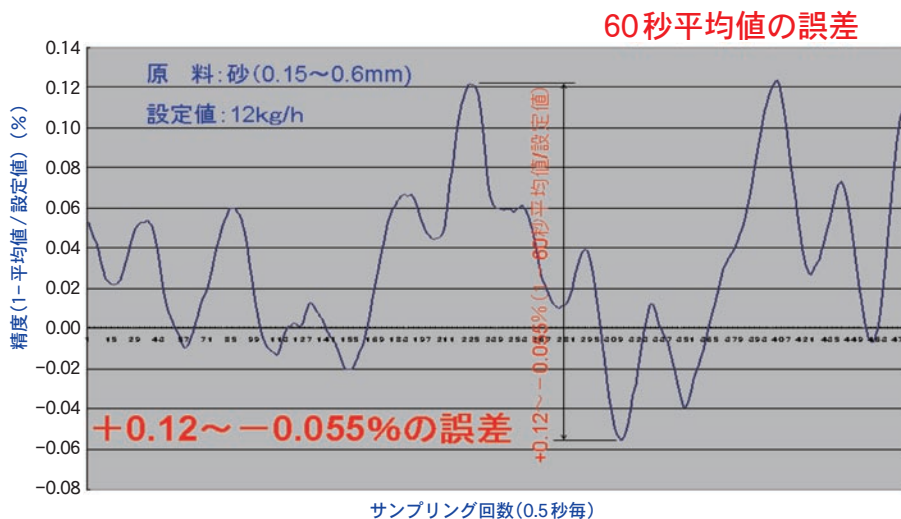


図10 60秒移動平均値の誤差

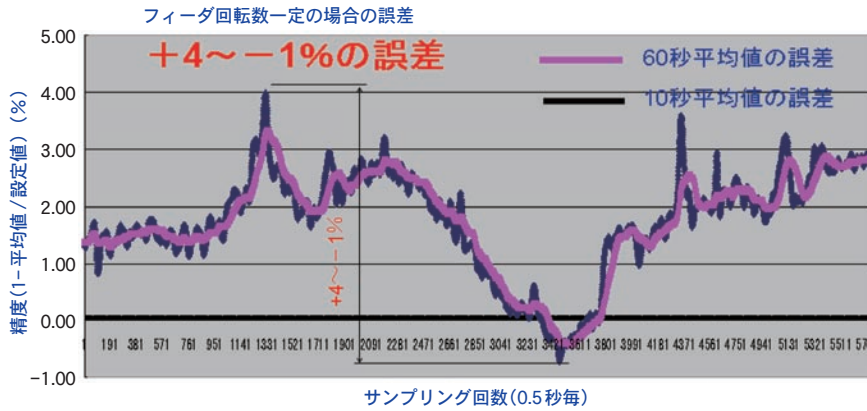


図11 フィーダ回転数が一定の場合の切出し誤差

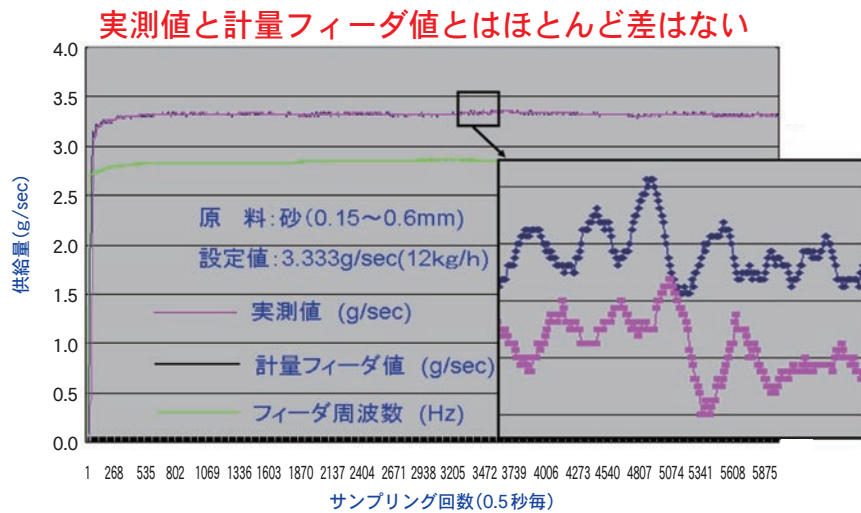


図12 切出し実測値と計量フィーダ値との差異

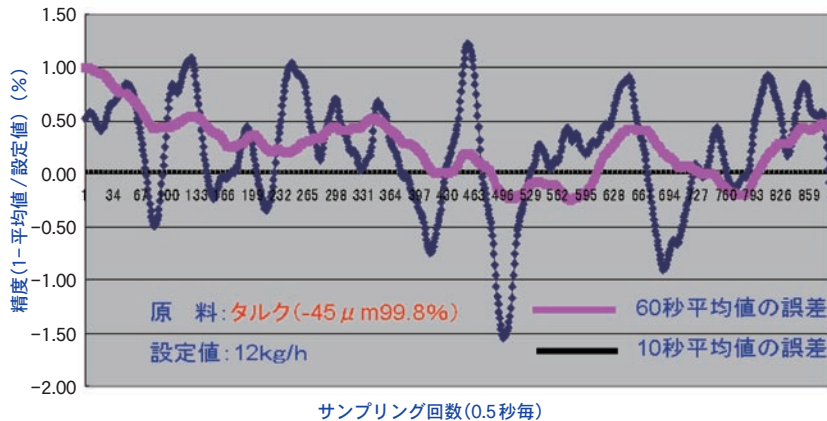


図13 タルクによる切出し誤差

## 6. 応用分野

今回新開発したシステムは、心臓部である計量フィーダ部はベルトスピードのアップや原料積載量を多くするだけでスケールアップが図れるため、今回製作した実験機も実際の製造設備でも計量フィーダの大きさには大差がなく、容量の大きい製造設備にも比較的簡単に応用できる。

容量が大きくなっても計量フィーダの大きさに変更がないということは、計量する最小目盛りは同じで切出し量のみ増やすことが出来るということであり、切出し量

が増えれば精度がアップする。つまり大型化することにより、実験機以上に切出し精度が上がるということであり、実機応用には有利な要因となる。

また計量精度が従来に比べて桁違いに高いため、大型化とは反対に微量切出しの精度向上も期待できる。

これらのことから具体的には、より精度の求められる二次電池製造工程(図14参照)や医薬関係製造設備(図15参照)、電子材料分野など、今まで回分式でしか成しえなかった製造工程に本システムを応用した連続製造設備の導入が期待できる。

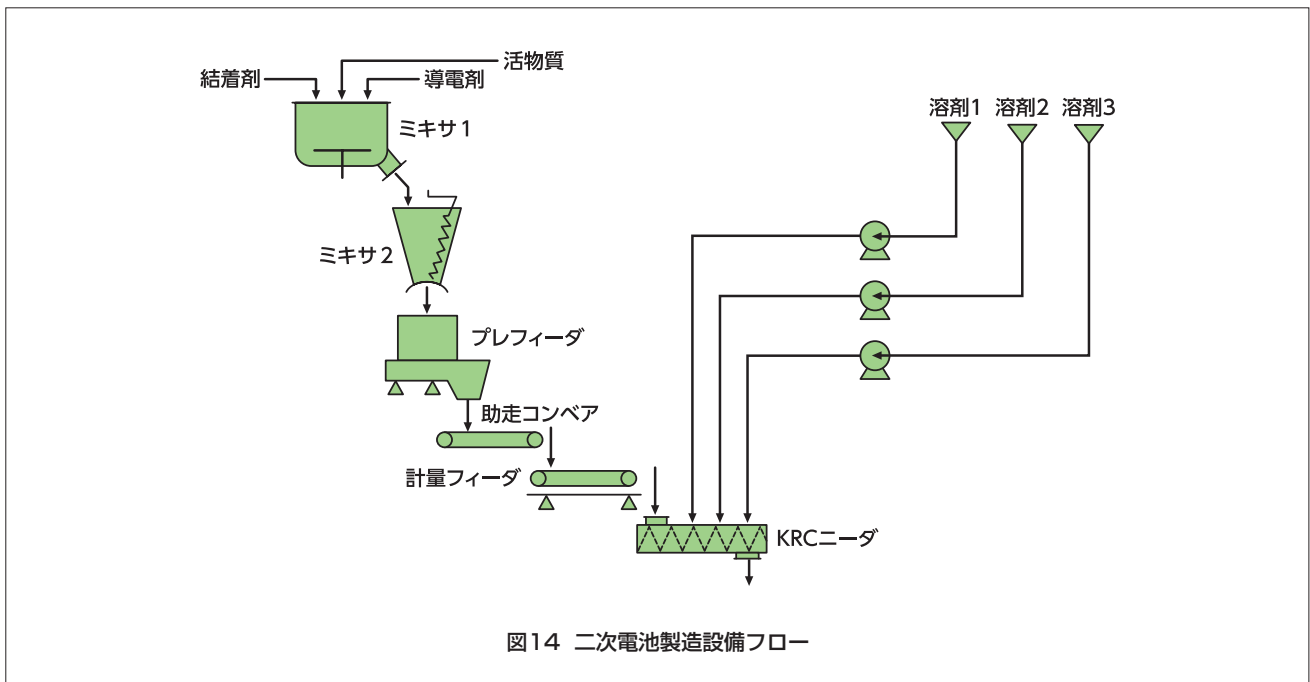


図14 二次電池製造設備フロー

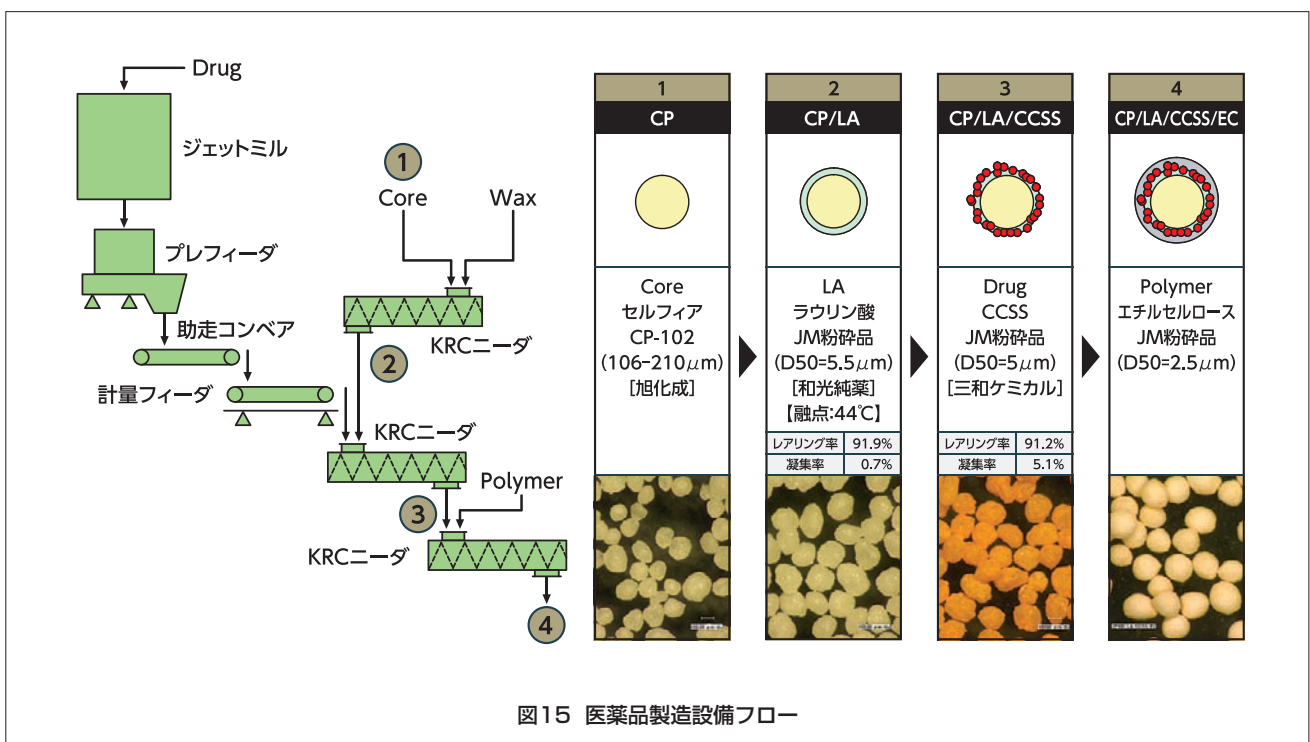


図15 医薬品製造設備フロー

## 7. まとめ

今回新開発したシステムの結果をまとめると以下のとおりになる。

- a) 従来の粉粒体供給システムに比べて一桁違う精度が達成できる。
- b) フィード量が増えても計量部自身は変更がないため大型化するほどコストパフォーマンスは優れ、精度も向上する。
- c) 現在二次電池メーカーが課題にしている微量供給(100g/h程度)の精度アップにも対応できる可能性がある。

本システムはソフト面に主眼をおいて制御によって切出し精度をアップする方向で開発を進めてきた。しかし今後、多様な原料を扱う場合、フィーダのハード面における切出し精度が問題になってくるものと考えられ、原料によっては制御が難しい場合もあり、現在、ハード面の改良に着手している。

また今後、混練機と組み合わせて実際に電池材料を製造し、その性能を評価することにより連続式と回分式の性能の差異を確認する予定である。

執筆者  
塩崎修司

Shuji Shiozaki

1981年入社

粉砕機、分級機の設計を経て現在微粉砕機、微粉分級機の開発に従事



守屋章利

Akitosi Moriya

1986年入社

プラント電気・計装設備設計に従事

