

混練機の適応技術

機械事業部（産機）

1. はじめに

多様化する新素材の開発・製造プロセス開発ならびに生産性向上などに適応し、あらゆる分野の混練工程で飛躍的な成長を遂げている当社の混練技術の歴史、機種、用途および実施例について述べる。

2. 当社における混練機の開発経緯について

化学工業、プラスチック工業、製薬工業、窯業、食品工業などのあらゆる分野で、粉体の表面にバインダや添加剤を必要量コーティングしたり、液体中に粉体を分散させたり、2種以上の高粘度性樹脂またはゴムなどをアロイ化するなどのために当社の混練機は使用されている。

最終製品が単一原料で造られるケースが非常に少ないため、原料の配合や製品の均一化のために、混練機（ニーダ）は混合機とともに、各分野の製造工程には不可欠な機械の一つとなっている。

多くの分野のプロセスに用いられるため、混練機の種類も非常に多く、しかも最近のように各プロセスの多様化、製品の高度化にともない、回分式、連続式とも機種はますます増える傾向にある。当社で製造販売してきた混練機を表1に示す。

表1 当社の混練機

回分式	リボンミキサ
	双腕ニーダ
	加圧式ニーダ
	インターナルミキサ
	パワーミックス
連続式	バグミル
	KRCニーダ (KRC)
	エクストルーダ (KEX/KEXP)
	アルティミットニーダ (UK)
	SCプロセッサ (SCP)
	減容機 (KEP)

当社は混練機のスタートとして窯業材料やカーボン分野を主用途として双腕ニーダの販売を始めた。回分式ニーダの場合、1) 多品種少量、2) 不定形原料の取扱いが可能、3) 滞留時間の調整が可能などの利点があり、古くから窯業製品やカーボン分野を主用途として回分式双腕ニーダを販売してきたが、電極製造業界における高密度製品の要求から、従来の回分式双腕ニーダに機械的

加圧機構を加えた加圧ニーダの開発にいち早く取り組んだ。

その特長としては、1) 加圧力／電力制御による小動力化、2) 胴体底部排出機構（胴体固定）、3) 処理物が付着しにくい羽根形状などを有しており、主な電極メーカーの製造ラインにほぼ採用された。また、樹脂やセルローズなどの化学製品の混練反応用にも多く納入している。

他方、肥料や鉱石などの製造ラインやダスト処理における単位操作技術としてバグミルやパン造粒機が混練、ペレットの造粒機として多く使用されている。

しかし、時代の変遷と共に連続式の要求も増えてきた。利点としては、1) 比較的小形の装置で大量処理が可能、2) 前後処理プロセスと直接連結し、密閉系として処理操作ができる（作業環境汚染や異物混入防止ができる）、3) 自動運転、制御装置の導入により省力化ができる（原料投入時間、排出時間、人件費の削減）、4) 設備動力が少なくできる、などがあり、この要求に対応すべく米国の混練機メーカーであるTeledyne-Readco社（現社名Readco Manufacturing社）から1971年に技術導入を行った（KRCニーダ）。1973年に1号機を納入し、現在までの納入実績はあらゆる分野に約850台にのぼる。さらに、KRCニーダの小型機（S1～S6）を中心として各型式毎に部品即納体制を確立し、また、産業界のあらゆる用途に対応すべく構造や機能の開発・改造、新機種の開発を行なってきた。

この中で1978年に東京都向けに納入したKRCニーダは混練技術発展の大きな足がかりとなった。用途は汚泥の脱水ケーキと焼却灰をセメントで固化する単位混練操作である。受注にあたっては事前の技術検討をS5KRCテスト機で実施した。条件として脱水ケーキに対するセメントの配合比による成形性および圧壊強度の測定、異物（主に金属）混入による攪拌羽根（パドル）破損に対する最適羽根の組合せなどの検討を行なった。その結果、従来機と比べてセメント量が少なく、練りむらがなく均一混練ができること、また、耐摩耗対策としてパドルの材質に高Cr鉄のCI X（当社製耐摩耗鋳物商品名）を使用することで高い評価を受け、S15×4台、S18×2台を受注し、現在も順調に運転されている。以後東京都の納入実績を契機に汚泥のセメント固化用混練機として各自治体に数多く納入した。また、技術面では大型KRCニーダ（S10～S24）設計の基礎ともなった。

価格面では、従来すべて機械加工でKRCニーダ心臓部のパドルを製作していたが、高価となるため金型によ

機械事業部

る精密鑄造技術を確立しコストダウンを行なった。その結果、従来の機械加工品と比べて約1/4程度の価格となった。以後、KRCニーダのパドルは標準としてS型、T型の各サイズとも金型をそろえて精密鑄造としている。

小型機としては1982年にS1KRCニーダを開発した。パドル直径が25mmと非常に小型な卓上型であり、処理量

も $2.8 \sim 5.6 \times 10^{-4} \text{kg/s}$ (1~2kg/h) と少ないことから産・学の研究開発用に約230台と数多く納入している。製作もワンロット5台で製作し、低価格で即納体制をとっており、客先の研究計画に遅れることなく装置を提供している。併せて新規用途の開拓もできるようになった(表2、表3参照)。

表2 当社混練機の歴史

年度	目的	機種名および特長	備考
1945	窯業・化学	双腕ニーダ	
1951		リボンミキサ	
1952	肥料・鉱石	パグミル	
1966	電極高密度化	加圧ニーダ	
1971	連続式	KRCニーダ パドル形状はレンズ形(S型) セルフクリーニング性、パドル組合せ自由	特許件数：1件 米国 Readco社 特許件数：15件
1973	廃棄物処理	KRCニーダ1号機受注	国産
1975	高トルク	T型KRCニーダ パドル形状は擬三角形、単位体積あたりの馬力がS型に比べ6~7倍	
1978	廃棄物固化	大型KRCニーダ 汚泥セメント固化に適応 各自自治体に多数納入	東京都納入
1982	研究・開発 (卓上型)	小型KRCニーダ 産・学の研究開発部門に多数納入 1992年に真空機能を具備したリアクタを拡販	量産体制
1984	食品加工	クッキングエクストルーダ	農水省共同開発
1988	回分式混練	インターナルミキサ KRCのパドルを用いて少量・多品種の回分式に適応	
1989	化学・樹脂	エクストルーダ 磁性塗料、生分解性樹脂に適応	
1989	反応・脱揮	VPニーダ	
1989	蒸発・乾燥	SCプロセッサ(適応例参照)	特許件数：3件
1990	混練・分散	アルティミットニーダ 異方向・異速回転、圧縮比が大きい	特許件数：3件
1992	分散	パワーミックス	米国 Ross社
1992	電子部品材料	EMC専用KRCニーダ 胴体開閉が容易(ボルトレス)、耐摩耗、冷却構造	
1992	製剤	エクストルーダ GMP、バリデーション支援システムの適用	製薬会社と共同開発
1992	廃棄物減容	エコロパック	
1993	粉体塗料	エクストルーダ	特許件数：2件
1996	廃プラの熔融	塩素ガス対応大型KRCニーダ	
1997	真空・反応	高真空(Fv)対応大型KRCニーダ	

表3 最近の処理物別用途例

樹脂	電子	化学	食品	窯業・廃棄物
粉体塗料 ブラマグ PE PP PVC BMC PET ポリウレタン ナイロン フェノール アラミド樹脂 エンブラ ポリ乳酸	EMC トナー 磁性塗料 電池 透明エポキシ	接着剤 触媒 洗剤 酸化鉄 肥料 農薬 建材 医薬 火薬 カイロ 蛍光顔料 シーリング材 木粉 融雪剤 たばこ トイレタリー製品	ソフトキャンディ チョコレート スナック 水飴 CMC ソルビトール トローチ コーンスターチ 小麦粉 コラーゲン	セラミックス カーボン インキ 汚泥 焼却灰 廃プラの油化 活性炭 耐火剤 軽量骨材

3. 適応技術

3.1 ニーズ

処理する原料の形態が、単なる「粉と液」の混練のみならず、あらゆる流体（特に高粘度物質）という、さまざまな相変化に伴い、所定の制約条件下（温度、圧力、雰囲気など）において、各操作（混合、混練、分散、反応…）に適応し、所望の製品を得るため顧客のニーズに合せた最適な機種を提供している。混練機の納入実績から用途を分類すると樹脂、化学、反応、食品、無機物、窯業などに大別される。混練操作は実験段階から顧客と秘密保持協定を結んで進めることもあり、原料名、操作技術を開示できない場合も多くある。この中で代表的な機種であるKRCニーダ、エクストルダ、SCプロセッサについて代表的な適応技術について述べる。

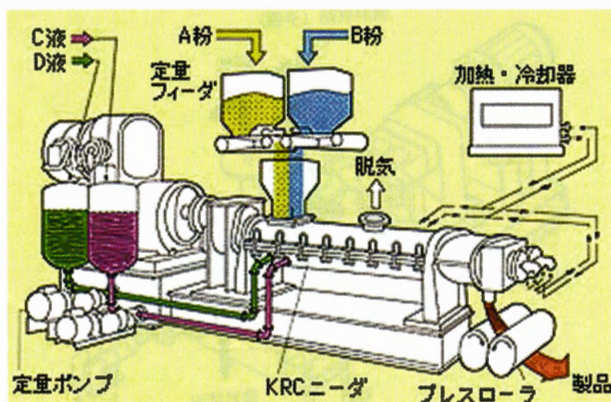


図1 KRCニーダのフローシート例

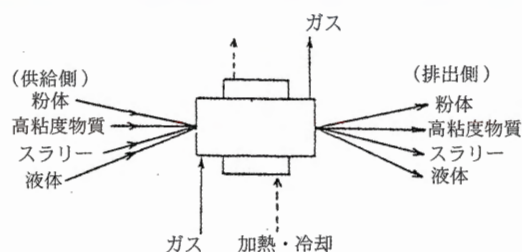


図2 相変化

3.2 EMC(Epoxy Molding Compounds) : エポキシ樹脂封止材製造におけるKRCの適用

近年の電子機器の小型化・軽量化・高性能化の市場動向において、半導体の高集積化も進み半導体パッケージの表面実装化が促進されるなかで、半導体封止材料への要求性能はますます厳しいものとなっている。このため、従来からの封止材料では解決できない問題点もでてきている。

これらの問題点を解決するために現在最も効果的と考えられ、広く採用されているのが、エポキシおよび硬化剤成分として成形温度での熔融粘度の低い樹脂を使用し、また、硬化剤として可撓性骨格を有するフェノール樹脂を使用し、かつ、組成物中の熔融シリカの含有率を高め

た樹脂組成物である（樹脂およびフィラーの変更による製造方法）。

特に、常温時固体であり、熔融時の粘度が極端に低下する結晶性のエポキシ樹脂が広く使用され始めている。

従来は1軸のニーダが使用されてきたが、原料中のシリカの配合比が80%以上と高くなるに従ってスクリュウ、胴体の摩耗が激しく、また、1軸のため混練度も弱いことから2軸同方向回転のニーダが注目されてきた。

これらのことを踏まえ、エポキシ中に含まれる熔融シリカの配合を高めた封止材の製造方法について、KRCニーダの対応を示す。

機器に対するニーズ（ハード）に対する対応；

型 式：T型KRCニーダ

（高トルク、同方向回転、セルフクリーニング式）

クリアランス：胴体～パドル間とパドル～パドル間はミニマムクリアランス

耐摩耗：胴体ライナ 材質CIX→CHST

（当社製耐摩耗粉物商品名）

胴 体：上下油圧クランプによるワンタッチ開閉式

主 軸：中空冷却、スプライン継手

脱 気：ベント口設置、減圧による揮発分の除去

EMC用途に対してKRCニーダは研究用S1から生産用T10KRCまで約60台の納入実績があり、最近ではEMC業界においてはほぼKRCニーダが採用されている（図3参照）。

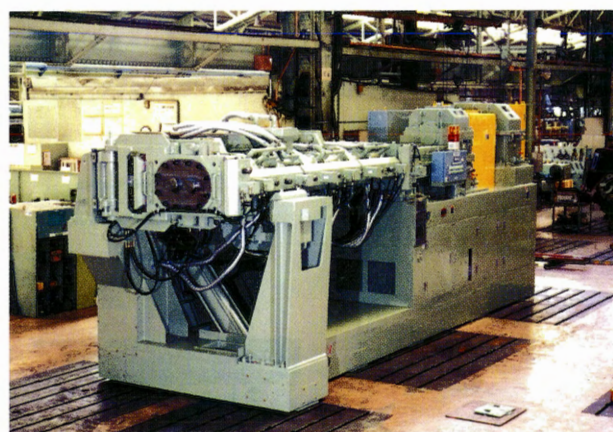


図3 KRCニーダ

3.3 磁性塗料製造（磁気テープ）におけるエクストルダニーダの適用

磁気テープは0.5μm以下の針状形をした磁性粉が用いられ、これに適当な添加剤（分散剤、潤滑剤、塗膜補強剤、帯電防止剤など）とともに、バインダ溶液中に分散させて磁性塗料を作り、これをポリエステルベースフィルムに塗布する。塗布した直後のテープを平行磁場の間を通過させて磁性粉の方向を配列させる。磁性塗料

は磁性粉と樹脂および溶剤とを固形分濃度75～85%で混練し、その後、十数段階の希釈工程を経て塗料化される。

従来のプロセスであるバッチ式ニーダでは数十分から数時間かけて混練しており、取扱いが複雑で多数の人手を必要とし、作業環境も悪かった。さらに、磁性粉の微細化、高密度化、特性の高度化に対応できなくなってきた。

以前から連続化処理装置としてはKRCニーダを2台使用していた。上段機は混練、下段機は希釈の前工程としていたが、操作性の改善と高機能化対応としてエクストルーダに着目し、実験で能力確認の結果、性能が従来法と比べて良好なことから各社に採用された。エクストルーダは密閉系で無人自動運転および連続操作ができ、同時に希釈工程の一部を行ない、以後の希釈工程に要する時間と工程を短縮することが可能となった。

原料の装置内での滞留時間は数分間しか必要としない。

微細化、高密度化、高特性化への対応については、均一な強せん断力と正確な温度制御性によって従来品に比べて非常に良い結果を得ている。

磁性塗料用途において研究用KEXN-30からKEXN-125まで約20台の納入実績があり大手磁気テープメーカーにはほぼ納入した。

3.4 脱溶剤、溶剤回収におけるSCプロセッサの適用

3.4.1 概要

従来からKRCニーダは脱溶剤や溶剤回収用に実績が

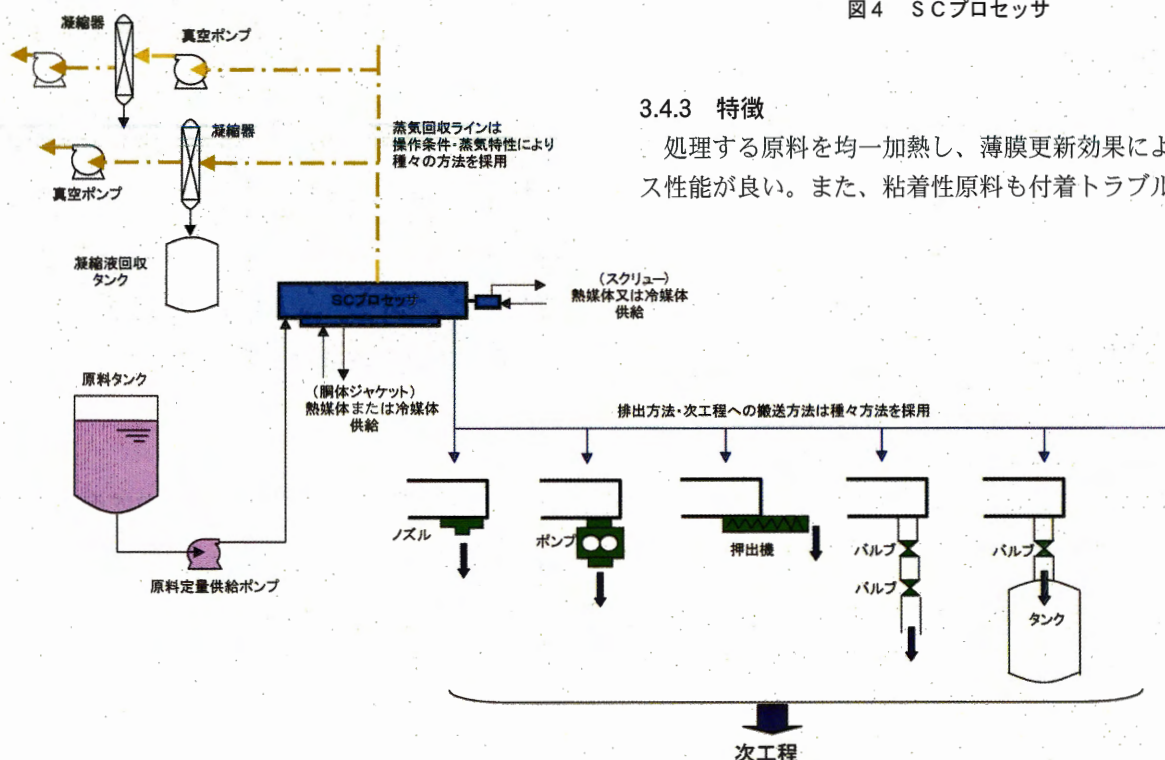


図5 脱溶剤フローシート例

あるが、伝熱面積が小さく大きなサイズとなる場合が多いため、混練機・KRCニーダのもつセルフクリーニング性を取り入れ、反応・乾燥などの熱交換を重点においた高粘性材料用セルフクリーニング型処理機としてSCプロセッサが開発された。開発後、約10年を迎えて需要も増えてきており、ここにこれを紹介する。

3.4.2 構造

SCプロセッサは、胴体内に熱媒体を循環させることができる2本のスクリー軸を有しており、大きな伝熱面積を有している。また、胴体上部に蒸発室を設けることにより、大きな蒸発能力を有している。そして、2軸が異方向に回転することにより原料を搬送する(図4参照)。

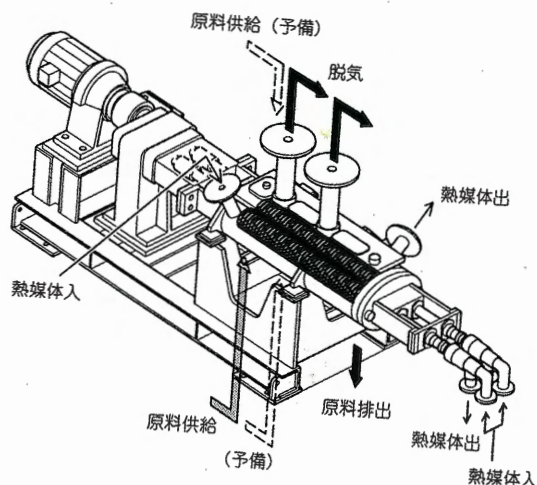


図4 SCプロセッサ

3.4.3 特徴

処理する原料を均一加熱し、薄膜更新効果による脱ガス性能が良い。また、粘性原料も付着トラブルが少な

く相変化の大きい処理（高粘性から粉状まで）も1台で自力搬送可能で、比較的シャープな滞留時間が得られ、特に減圧状態での低温処理にも有効である。

3.4.4 脱溶剤工程

ポリマ製造には重合工程があり、そこには溶媒などの目的のために溶剤が使われる。重合後、その溶剤は不要ゆえ除去する必要がある。

さらに、粉体塗料は従来、基盤樹脂・顔料や添加剤とをつなぐために、樹脂バインダを混合機と混練機を組合せて混合・混練していた（乾式）。しかし、最近さらに物性（プロッキング性など）向上のために、樹脂バインダを溶剤に溶かす湿式分散方式の採用により、分散性アップを図る傾向にある。そして、分散後溶剤を除去する目的のために本機が使用されており、一般的なフロー例を図5に示す。

3.4.5 溶剤回収

重合工程などで使用された溶剤などは、濃縮機などにより溶剤回収されるが、その残さの粘度が上昇すると濃縮器からの払出しに問題が生じるため、まだ多くの溶剤が残存する。さらに、リサイクル率アップのために溶剤回収する必要がある。

一方、塗料製造において、色替え時に使用される洗浄溶剤廃液は濃縮器などにより溶剤回収されるが、まだ約60%の溶剤が残存している。溶剤をさらに回収し、残さは産業廃棄物として処理可能な溶剤含有率以下にする。これら溶剤回収目的のために本機が使用されている。

溶剤回収は、リサイクル、環境・大気汚染防止などの最近の動向に沿ったものであり、ニーズは多く、機械的にもまだまだ能力アップが求められており、改善に努める必要がある。

3.5 最近の適用技術

環境、リサイクル分野で資源の有効利用化が進められている。客先と秘密協定を結んでおり開示できないが、単位操作技術である粉碎、混練、造粒、乾燥、焼成技術を生かした浄水汚泥処理（土壌改良材）、下水汚泥処理（石灰原料、土壌安定材）、碎石ダストの再資源化（軽量骨材の製造）などのシステム化に取り組んでいる。

4. 実験による対応

このような広範囲の混練技術（特にレオロジーの分野）に関する報告は少なく、所望の製品（評価）を得るために、顧客側の原料・製品特性に関する知見（ソフト）と、機械側の性能（ハード）を、双方十分に情報交換し、計画性をもって進めることが必要不可欠である（反面、双方

が開示できない制約内容が多く、秘密保持、共同研究契約などにて制約を緩和し、双方協力体制が必至である）。実験に際しては、概ね次の段階を踏みながら進める。

Step1: 定性的（機種選択、適応性／短期試験）

Step2: 定量性（最適条件、再現性／長期試験）

フローチャートを図6に示す。

4.1 実験およびその評価

実験の状況は視覚的要素が高く、また、双方立会の上、より効果的な方法の検討を重ね、試行錯誤的ではあるが実績の経験を活かし、感覚的思考も重要であり、究極的には実験による確認が必要である。

特に高粘度域を伴う相変化においても、セルフクリーニング性とパドルパターンが高度な性能を発揮し、幅広く適用でき、リアクティブプロセッシングとしての適用も可能である。

また、原料の種類が全く異なる場合（例えば、食品と樹脂）でも、原料の性状、流動状態に類似性があれば、同等な手法で、いくつかの代表的なフローパターンに適合し、概ね的確な結果が得られる。図7にパドルパターンの特性などを記載する。

ラボ用に開発した小型機は客先側で購入し、製品開発、生産技術用に用途開発し、実装置にも飛躍的に発展した事例も多い。

実験結果により概略サイズをスケールアップする場合は下記実験式にて算出している。

$$\text{スケールアップ; } Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{2 \sim 2.5 \times}$$

Q_2 : 実機処理能力

Q_1 : テスト機処理量

D_2 : 実機サイズ

D_1 : テスト機サイズ

※加熱・反応を伴う場合の乗数は2乗側に、単なる粉と液体の混練の場合は2.5乗側になる。

実施設計においては、シリーズ化およびモジュール化した構造に適合させ、標準化による類似設計で容易である。

4.2 納入実績と実験件数

KRC ニーズは食品、反応、化学工業、樹脂、無機分

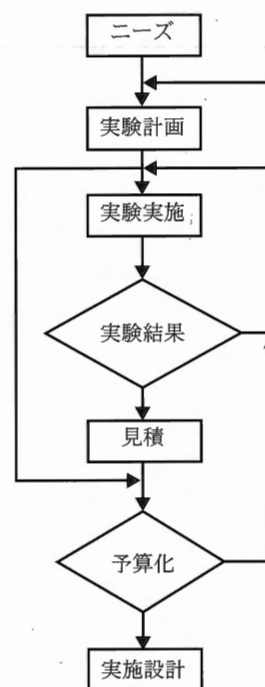


図6 実験のフローチャート

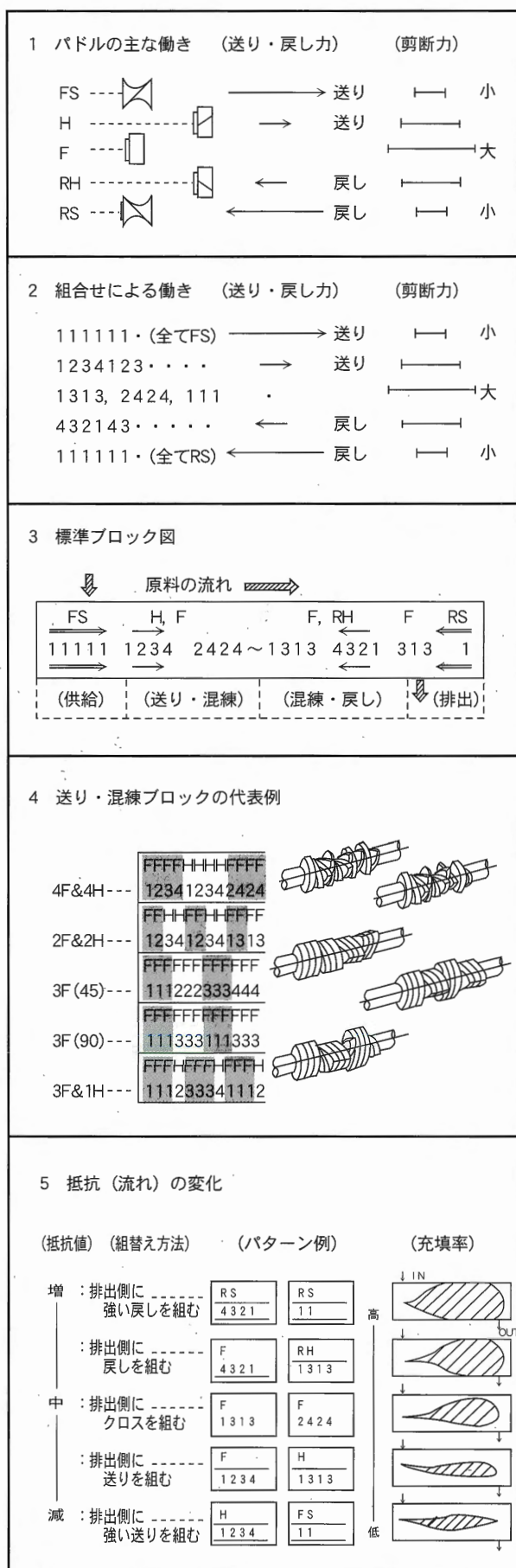


図7 バドルパターンの特性

野に幅広く納入実績がある。図8と図9に納入実績と実験件数を示す。

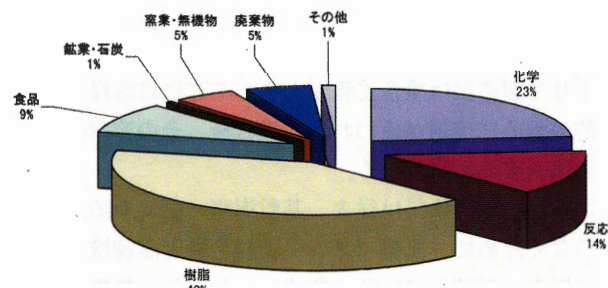


図8 KRCニードグ納入実績 (用途別/850台)

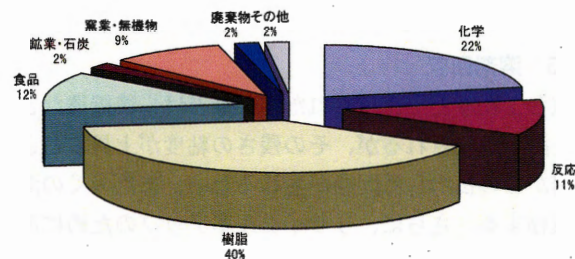


図9 KRCニードグ実験実績 (用途別/約3400件)

4.3 実験設備対応

住吉工場・技術センター内に主要実験機器と付帯設備を設置し、顧客要求に合わせて実験を行なっている。

5. おわりに

以上、混練機発展の経緯をもとに開発してきた混練技術、実験対応策について紹介した。

今後は、ニーズの多様化にともない、独自混練技術の構築、最適制御技術システム化に取り組んでいきたい。

(文責 産業機械技術部・酒井則孝)