

シロップ連続調合及びコーヒー・茶連続抽出システムの開発

Development on Continuous Syrup Mixing System and Coffee・Tea Continuous Extraction System

名古屋機器製作所 山 口 昇 吾^{*1} 伊 藤 浩 文^{*2}
館 栄 二^{*3}
技 術 本 部 安 部 貞 宏^{*4}
株式会社 R S E 伊 藤 卓^{*5}

清涼飲料の品種が多様化し、シロップ調合及びコーヒー・茶抽出製造工程の見直しのニーズが高まっている。従来のバッチ式液処理装置に対し、連続化・自動化を基本コンセプトに連続式液処理装置を開発した。シロップ連続調合は、高精度で信頼性の高いシステム化と安全性確保を図った。コーヒー・茶連続抽出は、従来の抽出性能を確保した上で、充てんまでの工程処理時間を半減して品質向上を図った。さらに、いずれにも共通する砂糖溶解・調整、粉体原料の溶解自動供給等周辺装置類の連続化・自動化も行いトータルシステム化・FA化を図った。制御システムは、マルチタスク処理とリアルタイムの情報処理を特徴とするシステムを開発し、集中監視制御でワンマンオペレーションが可能になった。

With the current trends to diversity in beverages, the progress of syrup manufacturing and coffee and tea extraction leaves much room for improvement. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI) has developed a new Continuous syrup Mixing System (CMS) and a Continuous Extraction System (CES) based on the concept of continuous and automated systems. The CMS and CES have many advantages such as high mixing accuracy, high systems reliability, high production efficiency and minimal preparation time for daily production. In addition to the above advantages, these systems have an intelligent plant monitoring and control system processing unit using computerized system.

1. ま え が き

清涼飲料の生産量は、この10年間で約2倍と順調に伸びている。この背景に、従来の炭酸飲料・果汁飲料に加えコーヒー・茶飲料やスポーツ飲料・健康飲料等生活に密着した飲料の開発があって清涼飲料の消費を増加させていることがある。清涼飲料の品種が、かつての嗜好品主体から自然食品・健康志向へと広がり、さらに生活ゾーンの食生活に直結する飲料の商品化へと範囲が拡大され、年齢不問のものとなってきている。

清涼飲料製造業界では、これら多品種兼用化、消費者の価格志向を満足させるコストダウン、及び製品配送・販売の急速な変化への対応など、小回りの効く製造システム化のニーズが高い。

これらのニーズにこたえ、従来のバッチ方式であったものを連続方式化し、シロップ連続調合及びコーヒー・茶連続抽出システムとして開発し、さらにコンピュータによる自動制御化・FA化を図ったので報告する。

2. 開発コンセプト

従来の清涼飲料製造工場のシロップ調合やコーヒー・茶抽出工程は、ほとんどの作業が人手によるバッチ処理が主体で、かつ製品製造の最も重要な工程であり、経験豊かで製造操作レベルの高い人手を必要としていた。開発のコンセプトは、下記のとおり連続化・自動化であり、トータルFA化・システム化を図っている。

- (1) 省人化・省力化 ワンマンオペレーション化
- (2) 高品質維持 プロセス工程時間を大幅短縮
- (3) 多品種対応 品種切替容易化、CIP 時間短縮
- (4) 省スペース 設置スペースタンク容量を半減
- (5) FA 化 集中監視自動運転制御化

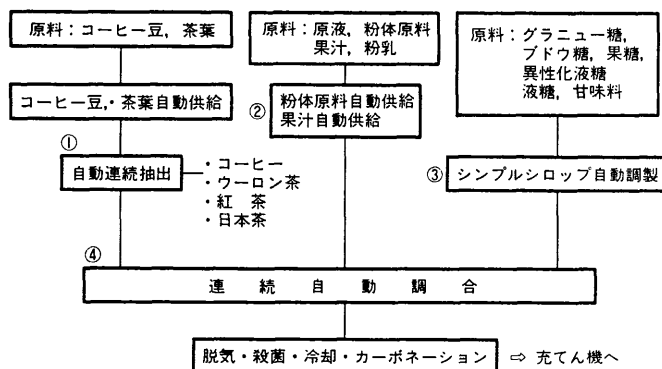


図1 トータルシステム化の範囲 原料の受入れから、溶解・抽出・調合等の連続化・自動化を開発した。
Block diagram for total systematization

連続化によって、ユーティリティ負荷ピークの低減や装置のコンパクト化ができ、製造準備時間の大幅短縮などユーザメリットが大きい。

開発は、図1に示すように、①自動連続抽出、②粉体原料・果汁自動供給、③シンプルシロップ自動調整、④連続自動調合の各ユニットに区分して行った。

また、基本性能を確保することと未経験製品液種の実機データを得る目的で、図2に示す実機の約1/5の能力のパイロットテストプラントを完成させた。

3. シロップ自動連続調合装置 (CMS)

3.1 概要

シロップ自動連続調合装置は、従来人手作業で原材料（砂糖、酸味料、香料等）をバッチ調合していたものをインラインで連続

*1 産機技術部主務

*4 名古屋研究所産器研究室主務

*2 産機技術部ロボット・電子制御設計課主務

*5 食品包装機械部技術サービス課主務

*3 産機技術部食品包装機械設計課

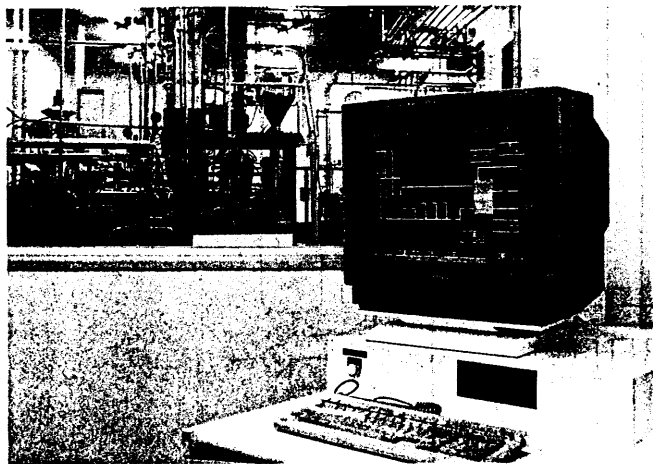


図2 パイロットプラント 調合・抽出を含むパイロットプラントで運転操作データを得ることができる。
Photograph of pilot-plant

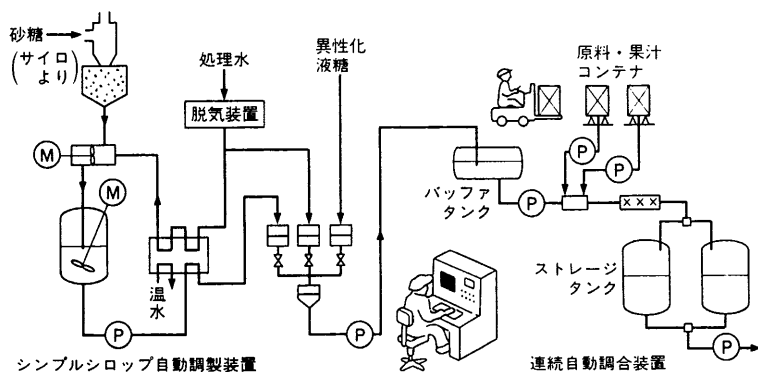


図3 シロップ自動連続調合装置 (CMS) フロー図 シロップ調合の連続化、自動化を図り、その概略フローを示す。
Flow sheet of continuous syrup mixing system

的に行うもので図3に概略フローを示す。

本開発の装置は、先ず粉体の砂糖を脱気水を用いて連続的に溶解し、溶解した砂糖液、異性化液糖及び脱気水を自動連続で所定濃度によって調合したシンプルシロップを作る。

バッファタンクからシンプルシロップの質量流量を一定に保って、インラインで香料、酸味料及び果汁等の原料を自動連続調合し、インラインミキサで均質にしたものをストレージタンクに送液する。ストレージタンクから、びん詰/缶詰室のブレンダに調合シロップを送液する。

3.2 脱気水の使用

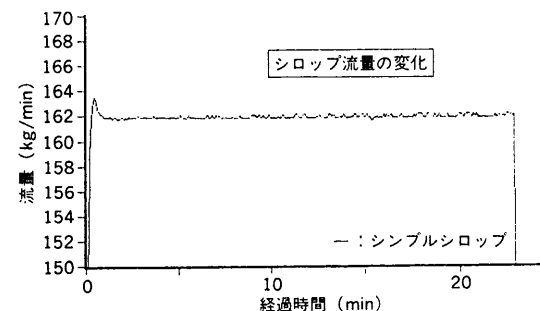
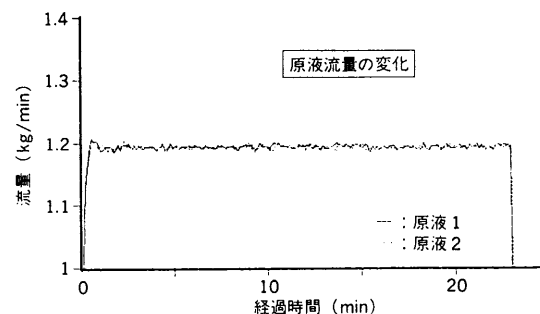
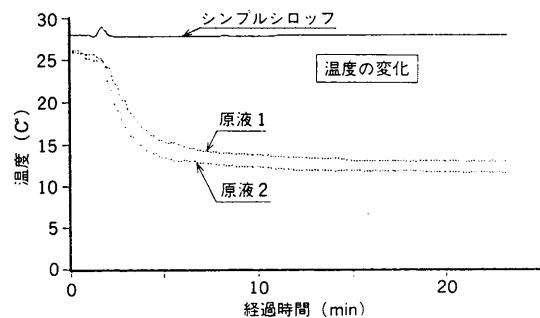
従来のバッチ方式が前日仕込とせざるを得ない理由の一つに仕込時に発生した気泡の除去があり、従来では仕込後数時間静置することで気泡除去を行ってきた。

新方式ではこれに対して調合のインライン化及び調合用水に脱気水を使用することによって気泡発生ををなくした。これによりびん又は缶に充てんする際の泡立現象がなくなり充てん能力向上が図られた。また、飲料中の溶存酸素も低く抑えることができた飲料の品質向上につながっている。

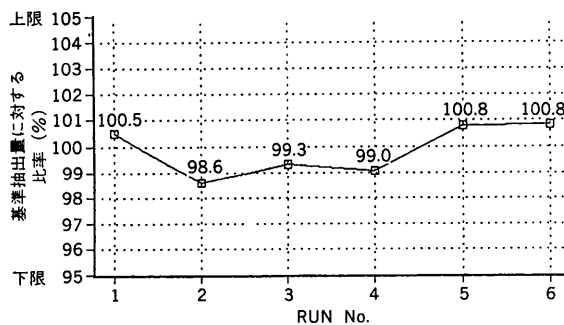
3.3 調合性能の確保

シロップ調合を連続化することは、従来のバッチ方式で考える必要のなかった次の課題を解決しなければならない。

- (1) 原液ごとの経時的な均一性
- (2) 温度の影響
- (3) 原液抽出量の管理



(a) 調合流量制御データ



(b) 連続抽出データ

図4 連続調合、連続抽出の運転データ例 運転開始時の急激な温度変化に対して精度を保って連続調合し、連続抽出も基準抽出率のばらつきが少なく安定している。
Example of result for control of continuous syrup mixing and for continuous extracting data

(4) 調合不良製品の発生防止及び常時監視

(1) については原液容器内の原液を攪拌することにより均一性を保つことになるが、気泡巻込みを防ぐため原液量に応じて攪拌速度を可変にした。(2) については原液ポンプに AC サーボモータ付の定量ポンプを使用し、ポンプ出口の質量流量によるフィードバック制御を行うとともに、原液の温度変化による補正をポンプ回転数に与えるフィードフォワード制御を行って高精度を確保した。図4(a)に運転開始時の液温度変化と流量制御結果の例を示す。(3) については各原液抽出量のトレンドを常にコンピュータでチェックし、その差異を補正するよう各原液の流量制御目標値を変更させるトレンド制御を行った。(4) については第5章で記述する。

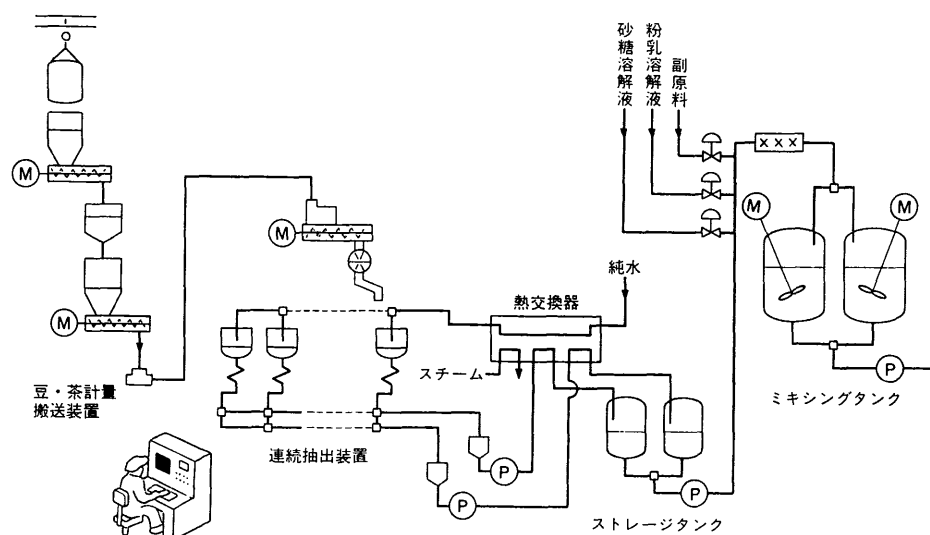


図5 連続抽出装置フロー図 コーヒー・茶連続抽出装置を、概略フローで示す。
Flow sheet of continuous extraction system

4. コーヒー・茶自動連続抽出装置 (CES)

コーヒー・茶類の抽出は、従来はバッチ・手作業で約2hほどのサイクルで抽出・調合を行い、高能力化とともに抽出カラムが大型となった。

本装置は、従来の大型化した抽出カラムを、小型化して多数使うことで連続化に近づけた連続バッチ式である。図5に概略フローを示す。

連続的に抽出を行うことは、抽出カラムを効率的に使用することとなり、これにより抽出器面積を従来の1/2とし、またユーティリティの低減平滑化を可能としている。

抽出カラムの小口径化及び複数にすることは次のメリットを生じている。小口径化については

- (1) 抽出カラムのD/L減少による抽出温度の均一化
- (2) 抽出液の片流れの防止、散水の均一化
- (3) コーヒー豆・茶葉投入後の整定作業の不要化

また、複数カラムの採用については、従来方式では大容量バッチごとでの抽出率のばらつきが大きく、一般的には基準抽出量に対する比率のばらつきが5~10%位あった。これに対し複数カラムの抽出液を混合使用することにより、このばらつきは安定化された。図4(b)にコーヒーをテスト機により4カラム分の抽出液を混合し、連続抽出した結果を示す。この場合のばらつきは、従来の1/2以下となっている。

さらに、各抽出カラムからの抽出濃度と抽出量を検知して、常に移動平均値が、目標の抽出率をキープするように自動制御を行い、抽出の初期から終了まで均一な抽出液を得ることが可能である。

このようにして抽出された液をストレージタンクに貯え、砂糖溶解液、粉乳溶解液、及び副原料をインラインで調合し、ミキシングタンクに送液する。通常はこのミキシングタンクで出来上がる製造液を、所定の水で最終製品ベースとなる濃度まで希釈していた。このため非常に大きなミキシングタンクを必要としていた。

本システムではミキシングタンクでは2~3倍の脱気水で希釈して濃厚な液を作り、びん詰/缶詰室に送液してさらに脱気水とインラインブレンドし、最終製品ベースとしている。この結果、ミキシングタンクが小型化され、CIP洗浄が容易となって製造準

備時間が短縮される。さらに抽出後、びん詰/缶詰するまでの時間が約半分の1h以内となり、品質が向上することとなる。

本装置は、抽出カラムが回転移動式のもの、固定式のもの2種類あり顧客の使用条件により、方式を選択することができるようになっている。

5. 成分濃度の自動検出

従来は人手によりシロップ調合を前日に実施しており、飲料製造まで時間の余裕があり、オフラインで原料成分濃度の複雑(高濃度)な分析が可能であり、厳密な品質管理が行われている。それに対して自動連続調合システムでは、シロップ調合が当日であり、迅速な計測と高品質(原料の混合精度)確保が一つの課題となる。

本システムは原料の混合精度をキープするために質量流量のフィードバック制御を行って安定化を図り、そのチェックに原料の消費量と各種の成分濃度をモニタリングしている。

原料の消費量はコンテナに装着したロードセルで重量変化を測定し、質量流量及び全体処理流量と比較して差異がある場合には警報を発する。このような原料の消費量を検出・比較する方法は、物量管理(トータルマテリアルバランスチェック)と言われマクロ的な管理の一種である。

それに対し成分濃度の自動検出は、ミクロ的なモニタリングと言える。

飲料に使用される原料は、表1に示すように分類され、それぞれの成分ごとにその分析手法が考えらる。表に記述してある方法は物理分析法であり、プラント中に組入れが難しい化学分析法は

表1 飲料成分と分析方法

Component parts of drinks and analysis methods

飲料成分	分析方法
甘味料 ショ糖、砂糖、水飴、蜂蜜、ブドウ糖	屈折率、密度
酸味料 クエン酸、リン酸、酒石酸	導電率、pH、紫外吸光
フレーバ 香料	GCMS
着色料 カラメル、アナトー色素、コーヒー色素、等	可視吸光、紫外吸光
安定剤 CMC、カゼイン	粘度
果実 オレンジ、アップル、パイナップル、バナナ(植物繊維、油脂分、固形物、等)	光透過率

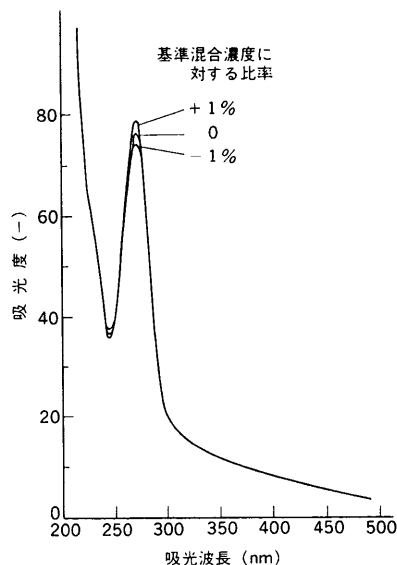


図6 飲料成分の紫外吸光分析例
飲料の酸味料であるリン酸の混合濃度を変化させたときの紫外領域での吸光度。
Example of ultra-violet rays analysis at component parts of drinks

除外してある。

これらの成分濃度の検出方法は多岐にわたるものであり、その集約化を現在研究中である。その一例を図6に示す。

この図は飲料に使われる酸味料について、混合濃度を原料の基準混合比率に対して $\pm 1\%$ 変化させての紫外領域での吸光度を調べたものである。

このような飲料原料は、その成分に応じて光が吸収する領域を持つために、その部分での吸光度の差から十分な精度で濃度を測定することができる。

以上により、更に高精度なシロップ自動連続調合装置とするために努力している。

6. 制御・FAシステム

連続化・自動化の開発基本コンセプトに基づく要求機能を、制御・FAシステム化を図り、プラント稼働情報、品質情報の一元化による運転支援をする等の手法にて解決した。

6.1 FAシステム

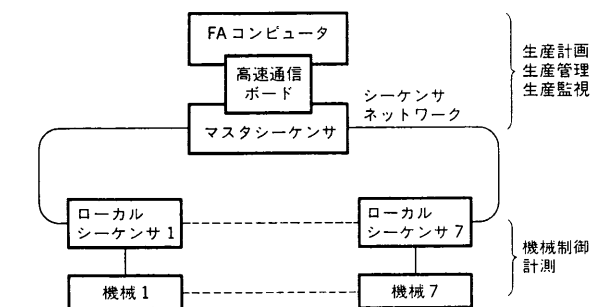
図7(a)にFAシステムの構成を示す。FAコンピュータ機能の特徴として、

- (1) 当社製品“高速通信ボード”を採用しリアルタイム性の向上
- (2) 生産計画、生産監視制御、生産データ記録、帳票発行等の複数機能同時処理のため、マルチタスクO/Sの採用
- (3) ワンマンオペレーション、操作対応容易化のため、マンマシンインタフェースの拡充を実施した。

6.2 制御

図7(b)に混合システムのフロー図を示す。

- (1) 高混合精度



(a) FAシステム構成

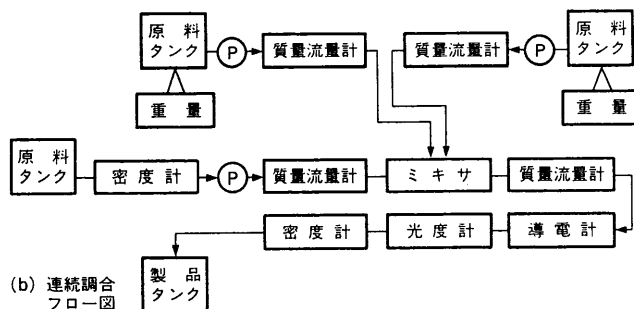


図7 FAシステムの構成・機能と連続調合フロー図 FA コンピュータ、シーケンサ及び機械を階層構造として機能分散し、連続調合制御と製品品質管理をマルチタスクで処理している。
System configuration and continuous mixing system flow chart

- 送液ポンプを定容量ポンプとし、ポンプ駆動にACサーボモータによる高精度回転数制御を行う。
- 質量流量計と温度計とを設置し、送液ポンプ回転数の非定常時フィードフォワード制御と定常運転時サンプリングフィードバック制御を行う。

本制御方法により、長期間混合精度 $\pm 0.3\%$ 以下を維持している。

(2) 製品品質

- 原料、製品の積算重量監視
- 原料、製品のBrix監視
- 製品の導電度、光度監視
- 製造前後及び品質切替時の洗浄工程監視を行うことにより、製品品質保証としている。

7. まとめ

連続化・自動化の基本コンセプトに基づき、フレッシュネス・風味等の高品質化の実現と、日本独特の気候風土に依存する微生物管理等の食品安全衛生を確保し得るシロップ連続調合システム及び連続抽出システムを開発してきた。

清涼飲料の多品種化は今後も継続し、シロップ調合、コーヒー・茶抽出の原材料の種類もそれに比例して増加が予測される。液調合・抽出工程の連続化・自動化はこのニーズを満足させるものであり、今後さらに取扱適用液種範囲の拡大と、FA化による工程管理・品質管理データの充実と、リアルタイム性の向上を図ることをもくろんでいる。また、びん詰/缶詰ラインを含むプラントのトータルシステムとして発展させていく。