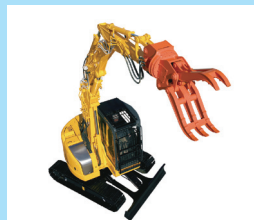
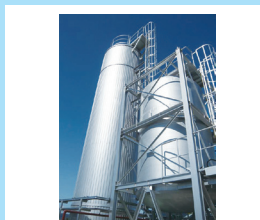
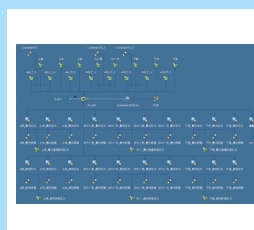
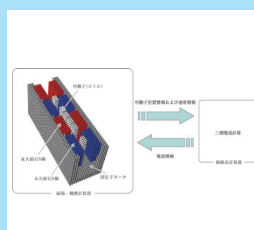
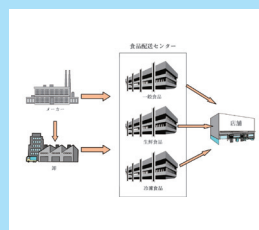
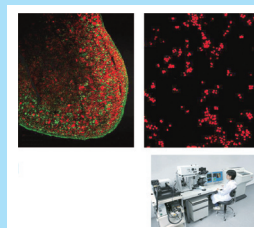


「食」分野特集 Special Section of Food Field



「食」分野特集

論文・報告	電子線照射の食品容器・包装材への適用	上野浩二	1
論文・報告	ビール会社における物流システム	川口英二, 斎藤信也	5
技術解説	食品系排水における嫌気処理技術	村井 亘	9
論文・報告	食品配送センターにおける物流システム	宮谷高之, 西前健司	11
技術解説	省スペース排水処理システム スミスラッジ®	三井昌文	15
論文・報告	プラスチック食品用薄肉容器加飾成形システム	小林彰久	17
技術解説	多機能抽出装置と殺菌装置NT式熱交換器	杉船大亮, 安原裕介	21

論文・報告

微生物群集解析の開発	稲葉英樹	25
磁場・機構・制御連成解析手法の開発	宮崎修司, 山下幸貴, 市嶋大路	29
構造物における最適化手法の活用	青木芳昇, 三玉一郎, 岡田真三	33

新製品紹介

新型低排出ガスディーゼル式フォークリフト FD35-50PXI	37
木造家屋解体機 SH75X-3BKK	38

Special Section of Food Field

T/PAPER	Application of Electron Irradiation to Food Containers & Packaging Materials Koji UENO	1
T/PAPER	Physical Distribution System in Beer Breweries Eiji KAWAGUCHI, Shinya SAITOH	5
T/INVITATION	Anaerobic Water Treatment Processing System of Food Waste Water Wataru MURAI	9
T/PAPER	Physical Distribution System in Food Distribution Center Takayuki MIYATANI, Kenji NISHIMAE	11
T/INVITATION	Space-Saving Water Treatment System SUMI-SLUDGE® Masafumi MITSUI	15
T/PAPER	Decorative Molding System for Thin Plastic Food Containers Akihisa KOBAYASHI	17
T/INVITATION	Multi Purpose Extractor & NT Plate Heat Exchanger Daisuke SUGIFUNE, Yusuke YASUHARA	21

T/PAPER

	Development of Microbial Community Analysis Hideki INABA	25
	Development of Coupling Analysis Method of Magnetic Field, Mechanism & Control Shuji MIYAZAKI, Koki YAMASHITA, Daiji ICHISHIMA	29
	Use of Optimizaion Technique for Structure Yoshinori AOKI, Ichiro MITAMA, Shinzo OKADA	33

NEW PRODUCT

	New Low Emission Diesel Powered Fork Lift Truck FD35 - 50PXI	37
	Wooden House Demolition SH75X - 3BKK	38

電子線照射の食品容器・包装材への適用

Application of Electron Irradiation to Food Containers & Packaging Materials

● 上野 浩二*
Koji UENO



電子線照射製品
Electron beam irradiation products

近年、食品業界において微生物汚染や有害化学物質などによる問題が大きく取り上げられるようになってきているなかで、製造工程における衛生管理、HACCP(Hazard Analysis Critical Control Point)などのシステム導入が増加している。製造工程管理が厳しくなるなかで、容器および包装材の微生物管理のあり方もより厳しい管理(消毒→滅菌)へ変化してきた。

食品容器・包装材の滅菌において残留物のない安全で確実な方法が必要となるなかで、医療機器に利用されている電子線滅菌に食品業界の注目が集まっている。

本報では、電子線照射施設、食品容器・包装材への電子線適用の方法および電子線照射製品について述べる。

Problems caused by microbial contamination and hazardous chemicals have attracted much attention in the food industry. The number of systems such as hygienic management systems and Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) systems adopted in the manufacturing process is increasing. As manufacturing process control has become stricter, stricter control is also required for microbial control for containers and packaging materials (from disinfection to sterilization). Since safe and reliable methods for sterilizing food containers and packaging materials that leave no residue are required, electron beam sterilization used for medical equipment has attracted attention from the food industry. This paper describes an electron irradiation facility, methods for applying electron beams to food containers and packaging materials, and products irradiated with electron beams.

1 まえがき

従来、食品関連業界においては微生物汚染や有害化学物質を最終製品の検査(抜取り検査)によって実施してきたが、近年のO-157などに代表される食中毒、BSEおよび残留農薬など食に関する問題が大きく取り上げられるようになってきているなかで、製造工程における衛生管理、HACCP(Hazard Analysis Critical Control Point)などのシステム導入が増加している。

従来、食品の製造工程において食品容器・包装材は、洗浄や消毒などによって病原菌やカビなどの除菌を行ってきた。特に食品容器・包装材について食品衛生法上で滅菌を求めていなかったが、製造工程管理が厳しくなるなかで、容器・包装材の微生物管理のあり方もより厳しい管理(消毒→滅菌)へ変化してきた。洗浄や薬剤による殺菌では滅菌を担保することができないことから、食品の管理よりも厳しい医薬品・医療機器などで採用されている電子線滅菌などの滅菌処理が容器・包装材に採用されている。

表1 滅菌方法
Sterilization methods

特性	滅菌方法			
	電子線	γ線	EOG	高圧蒸気
包装形態	最終包装状態で可能	最終包装状態で可能	ガス透過性包装必要	蒸気透過性包装必要
製品密度	かさ密度が小さい方がよい	かさ密度の高い製品も可	ガス透過可能であれば制限なし	蒸気透過可能であれば制限なし
材質変化	材質によっては変色, 劣化および臭いあり	材質によっては変色, 劣化および臭いあり	圧力による変形あり	熱および圧力による変形あり
残留物	なし	なし	EOG 残留の可能性あり	なし
処理温度	常温	常温	約 60℃	約 120℃
後処理	不要	不要	ガス抜き	乾燥
工程管理	容易 (線量管理)	容易 (線量管理)	複雑 (温度, 時間, 湿度, 濃度および圧力)	複雑 (時間, 湿度および圧力)
処理時間	数分~	数時間~	数時間~	数時間~

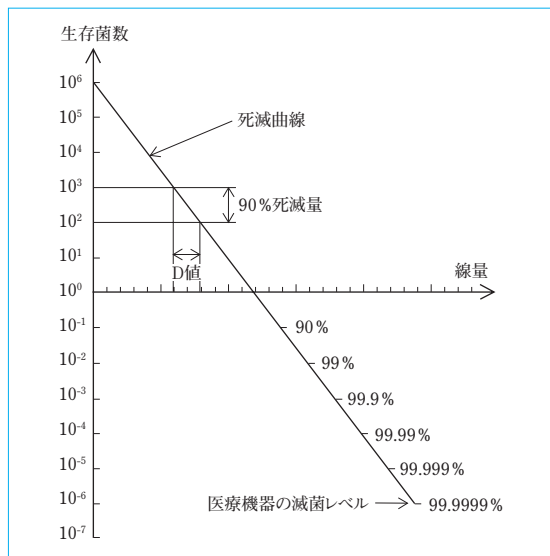


図1 生残曲線
Survival curve

本報では、電子線滅菌について照射施設、方法および電子線滅菌製品について紹介する。

2 滅菌

2.1 殺菌・消毒・滅菌とは

容器や包装材の無菌性を担保するなかで、よく殺菌、消毒、滅菌および無菌などという言葉が使用される。

殺菌とは微生物を死滅させることであり、量的な条件がない。それに対して、消毒とは人畜に有害な微生物または目的とする対象微生物だけを殺滅することであり、生存微生物の数を減らすことである。一方、滅菌とはすべての微生物を殺滅することであり、量的な定義があり、無菌(生きていない微生物)に限りなく近いことを意味している(図1)。

2.2 各種殺菌方法

殺菌するにはいろいろな方法があるが、大きく分類した場合、物理的な方法と化学的な方法に分けることができる。物理的な方法として熱(乾熱および高圧蒸気)、放射線(γ線, 電子線および紫外線)および濾過などがあり、化学的な方法としてガス(エチレンオキシド(EOG), ホルムアルデヒド)および薬剤(エタノールおよび過酸化水素)がある。各種殺菌方法のなかでも、乾熱、高圧蒸気、γ線、電子線、濾過およびEOGが日本薬局方に滅菌方法として明記されている。それぞれの滅菌方法には特徴があり、滅菌対象品により使分けが行われている(表1)。そのなかでも、放射線滅菌であるγ線



図2 日本電子照射サービス株式会社(EBIS) 関西センター
EBIS Kansai Center

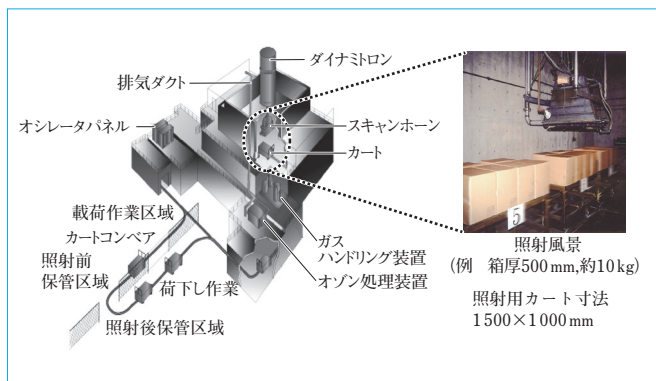


図3 電子線照射施設
Electron beam irradiation facility

や電子線滅菌では物資を透過する能力があることから、密閉された状態でも滅菌が可能である。

3 電子線照射施設概要

電子線照射施設外観は、図2に示すようになっている。電子線照射施設は、電子線加速器、照射室、冷却施設および製品保管エリアが配置されており、延べ床面積約4000m²の広さである。電子線照射施設主要部は、図3のように厚いコンクリート遮蔽壁で覆われた建屋の上部に電子線加速器が設置してあり、加速された電子線は加速管内を通り、下部の照射室へ導かれ被照射物に照射される。被照射物は1×1.5mの台車に載せ、処理される。

電子線加速原理はテレビのブラウン管と同様で、電球のフィラメントと類似した電子銃より電子が高電圧により加速され、スキャンマグネットと呼ばれる磁場発生装置によりスキャンングされ、一定の幅で均一に空気中に取り出され、被照

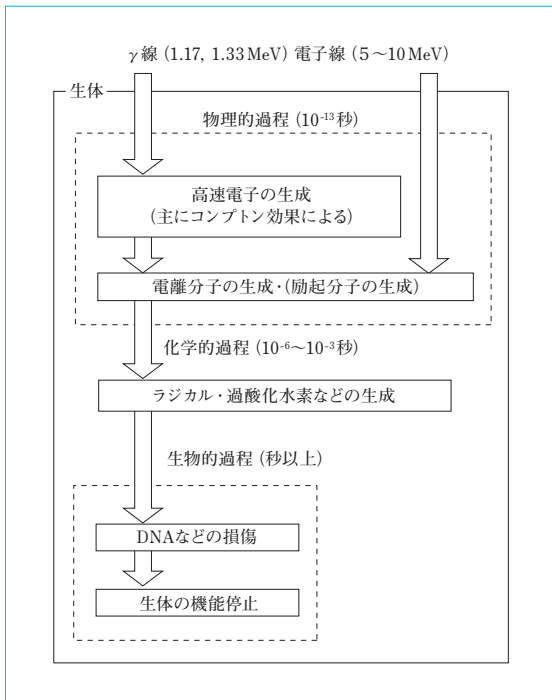


図4 放射線の滅菌過程
Sterilization process of radiation⁽¹⁾

射物に照射される。

テレビ(ブラウン管)と電子線加速器で異なるのは、加速電圧である。テレビのブラウン管では約25kVに対し、電子線加速器は5MV(200倍)であることから、電子線の透過力が強く、空気中に取り出された後、被照射物内部まで透過させることが可能である。一般的には、被照射物は段ボール箱に梱包された状態であり、梱包の高さによっては照射後製品を反転させもう一度照射する。

4 電子線滅菌

電子線は放射線の一種であり、菌の死滅作用は放射線の電離作用と励起作用が基本となっている(図4)。放射線が物質に与える影響を見る場合には、吸収線量Gy(グレイ)を用いる。微生物を1/10に減らす線量(D値)は、微生物によって違っているが比較的抵抗性の高い微生物で約2kGyである。食品容器包装でまず問題となるのはカビ、食中毒菌および病原菌であるが、それらは比較的抵抗性が低いといわれている。食中毒の原因となるような菌についての抵抗性は低く、D値は0.5kGy以下である。医薬品や医療機器の場合、おおよそ20~25kGyを照射することによって滅菌を確保することが可能である。ただし、電子線は電子そのものを加速し、大気中に取り出し利用していることから、物質との相互作用によって到達可能な深さが限られる。そこで、電子線滅菌照射条件を適切に設定する必要がある。

4.1 電子線滅菌照射条件設定

電子線滅菌を採用する際には、次の3項目について確認試験(滅菌バリデーション)を行う必要がある。

4.1.1 材質許容線量の設定

被照射物がプラスチックなどの高分子材料の場合、物質との相互作用によって強度、色およびにおいなどの変化が起きる。一般的に、材料の変化は線量によって変わるので、梱包状態での線量分布が小さければ滅菌線量の2倍線量で確認す

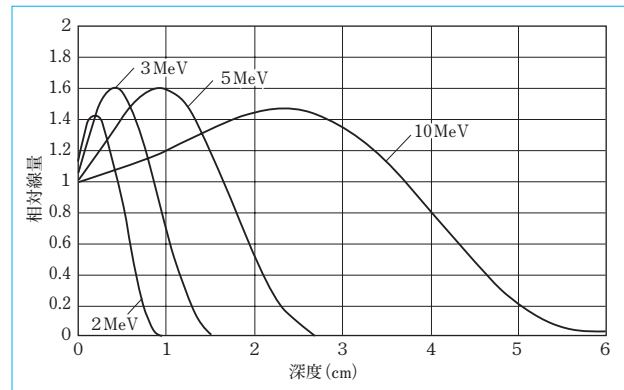


図5 深度線量分布(実測値)
Depth dose distribution(Actual measurement value)



図6 梱包内部
Inside of packing

る。必要に応じて3倍、4倍での確認も行い、材質許容線量を設定する。材料変化を確認する場合、時間とともに変化するポリプロピレンなどは経時変化を考慮する必要がある。また、ポリエチレンなど照射によりおおいの発生するプラスチックは、内容物充填による官能試験が必要となる。

4.1.2 滅菌線量の設定

滅菌線量については、被照射物の汚染菌数と菌の抵抗性および滅菌保証レベルに基づいて決定される。具体的には、ISO-11137:2006による方法およびD値による方法などがある。

4.1.3 電子線照射条件の設定

最終照射条件を設定するには、梱包状態で滅菌線量が確保され、材質許容線量以下とする必要がある。

電子線は一定の空気層を介してアルミの積層体に照射した際、線量をプロットすると図5のような曲線となる。(文献などに見られる低エネルギーでピーク線量が高くなるのは、真空中で加速された電子が直接均質物質に入射する場合の結果である) 5 MeVの電子線の場合、かさ密度1g/cm³の製品で片側よりの照射において表面と同じ滅菌効果の得られる深さは約1.5cmである。これは、空の容器などが段ボール箱に詰められた状態(図6)ではかさ密度が0.1~0.2g/cm³であることから、梱包高さとして7~15cmの梱包での処理が可能となる。さらに、反対面より照射することによって約2倍の梱包高さまで扱うことが可能である。

滅菌に必要な線量と材料に与える影響を考慮した場合、最適な梱包を検討する第1段階として均一物質での線量予想を行う。単純に電子線エネルギー、梱包におけるかさ密度およ

び梱包高さより電子線の透過距離が十分であるかを計算できるが、梱包内部での線量予想は難しい。(アルミ中のベータ線の透過距離計算式より計算が可能)

そこで、日本電子照射サービス株式会社(EBIS)では線量と透過距離について視覚的に判断可能なように、図7のような梱包高さ方向における線量分布を模擬したグラフを使用している。この計算においては均一な物質における透過を模擬していることから、空間の多いような容器の場合、補正係数をうまく調整することによって、実際の分布結果に近づけることが可能である。本補正係数は、0.8~1.2程度が用いられる。この結果、梱包状態で電子線滅菌が適用可能か判断できる。

最終的には、梱包内部に線量計をセットし線量の確認を行い、照射条件が決定される。

電子線滅菌は、最終照射条件が決まったとき、滅菌に必要な数値パラメータ(電子線エネルギー、電子線ビーム電流、搬送速度および梱包形態)がすべて決められ、被照射物の表面線量を管理することで滅菌が担保できるという利点がある。

5 電子線処理能力およびコスト

電子線の処理能力はγ線やEOGと比較しても非常に高く(40m³/h)、化学的処理と比べ処理コストを低く抑えることができる有効な方法といえる。

また、電子線滅菌においては電気および水のみを使用し、ガスなどの有害物質や放射性同位元素などを使用しないことから、環境にやさしい処理方法といえる。

6 電子線照射事例

電子線は主に容器の滅菌に使用されているが、次にあげる用途の滅菌および材料の改質にも利用されている。

6.1 医薬品

医薬品については日本国内における事例は少ないが、海外の場合眼軟膏系の医薬品に対して適用されている。これらは日本国内では濾過滅菌によって無菌性を担保しており、非常に時間と労力をかけた方法を採用している。また、漢方など天然素材のものについては熱処理が行われている。医薬品については、コスト削減や滅菌担保に電子線滅菌が検討される場合が多くなっている。

6.2 医療機器

医療機器においては、注射器、カテーテルおよび手術用縫合糸などのディスポーザブル医療機器で、熱に弱いプラスチック素材が多量に使用されている製品に利用が拡大している。

6.3 容器包装材

容器包装材としては医薬品などの容器・キャップおよび食品容器・キャップがあり、食品容器包装材については充填内容物が腐敗しやすい乳製品充填容器・キャップおよび水充填容器・キャップについて採用されている。近年、化粧品への防腐剤添加をなくす目的で化粧品容器への適用もされている。

6.4 試験検査器材

検査用の器材について、医療機器同様にシャーレ、チップ、ピペットおよび遠沈管などのプラスチック製ディスポーザブル製品が多くなっている。

6.5 材料改質

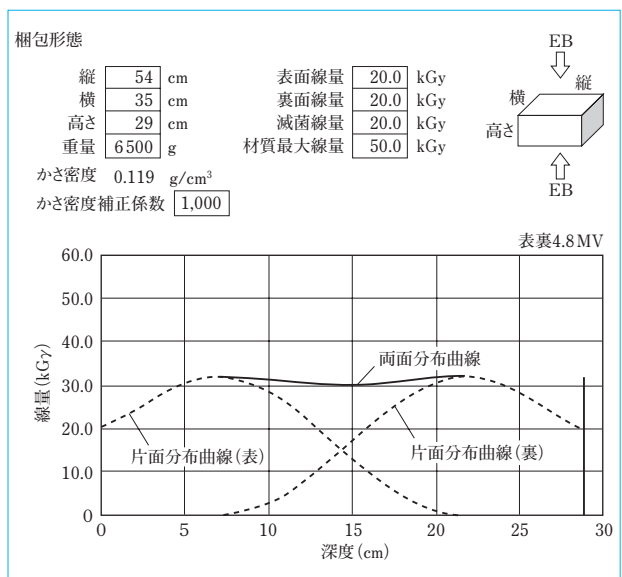


図7 深度線量分布計算
Depth dose distribution calculation

材料改質は無機系材料の改質および有機系材料の改質がある。無機系では、Siパワー半導体の特性改善に利用されている。有機系では、容器に使用されるプラスチック材料などに代表される素材の耐熱性を向上させるなどの用途がある。

7 電子線照射の課題

電子線の透過能力はエネルギーに依存する被照射物の形態によっては適用ができない場合もあるが、梱包を変更可能であれば滅菌は可能である。

電子線照射の場合被照射物のプラスチック素材への影響(強度変化、においおよび変色)があり、食品容器などの場合には充填物によっては適用が難しくなる。

今後電子線照射の食品容器・キャップへの適用拡大に当たっては、食品メーカー、容器製造メーカーおよび材料メーカーが一体となった検討が必要であることから、EBISは各メーカーの繋ぎ役となることが重要である。

8 むすび

食品容器・包装材への電子線滅菌適用は、次のような特徴を有する。

- (1) ガスおよび薬剤では処理できないアルミパウチやシールされた袋などの密閉性の高い包装での処理が可能である。(電子線照射後梱包の密閉性が保持できれば滅菌の効果は永久である)
- (2) 時間当たりの処理能力が高く、処理コストが安く、EOG滅菌およびガンマ線滅菌に比べ環境負荷の少ない処理方法である。
- (3) ISOなどの科学的根拠および手順に基づいた安全で確実な処理方法である。

電子線照射の適用範囲は広く、今回の事例にあげた容器などの滅菌以外ではプラスチック素材の改質などがあり、更なる用途拡大に向けて展開していく所存である。

(参考文献)

- (1) 細淵和成、「II. 医療用具」放射線滅菌の現状と展望. 社団法人日本アイソトープ協会, 1998, p.20.

ビール会社における物流システム

Physical Distribution System in Beer Breweries

●川口 英二* 斎藤 信也*
Eiji KAWAGUCHI Shinya SAITOH



図1 大規模自動倉庫システム
Large scale AS/RS (Automated Storage and Retrieval System)

アサヒビール株式会社は、食品業界における当社の最も重要な顧客であり、物流システムの納入実績も多数ある。それらの実績を積み重ねていくなかでは、大規模建屋一体型自動倉庫技術や自動ピッキング装置の開発を要し、スーパードライの成長とともに、当社の物流システム技術も成長してきたと言える。

しかしながら、近年ビール業界においてはビール消費量が伸び悩むなか、総合酒類メーカーへの転換や環境保全活動への取り組みなど課題は多い。

当社もこれらの課題に対応した商品を提供する責務があり、RFIDを利用した在庫管理システムやトラック積載効率を高めるシステムなどに、今後取り組んでいく必要がある。

Asahi Breweries, Ltd. is our most important customer in the food industry, and our company has delivered a number of physical distribution systems to Asahi Breweries. To achieve the delivery of these systems, we have been required to develop a large-scale AS/RS (Automated Storage and Retrieval System) technology and an automatic picking device, and it can be said that our technologies for physical distribution systems have grown in line with the growth of SUPER DRY. However, since beer consumption has stagnated in the beer industry in recent years, breweries are faced with many tasks such as the transformation to comprehensive liquor manufacturers and efforts to conserve the environment. Our company is also responsible for providing products that correspond to these tasks, and will have to work on the development of systems such as an inventory control system using the RFID and a system for increasing the truck loading efficiency in the future.

1 まえがき

アサヒビール株式会社(アサヒビール)は、当社のロジスティクス&パーキングシステム事業にとって最も重要な食品業界の顧客であり、その納入実績も数多い。

古くは1989年に納入された相模原配送センターのピッキング自動倉庫に始まり、2007年に建設された吹田工場の樽保管自動倉庫まで、システム数13、スタッククレーン数107台および保管パレット数66832パレットと、多数の納入実績を有する。また、今なおほとんどの設備が稼働中であり、アサヒビールの出荷物流の自動化・省人化に大きく貢献している

ものと思われる。

これらの物流システムの建設に当たっては、大規模建屋一体型自動倉庫技術や自動ピッキング装置の開発を必要とし、それを乗り越えて実績を積み重ねてきた。その技術は現在もなお引き継がれており、当社の自動倉庫における技術の根拠を支えている。アサヒビールのスーパードライの成長とともに当社物流システムも成長してきたと言っても過言ではない。

しかしながら近年ビール業界においては、消費嗜好の多様化に伴いビール消費量の減少や低価格化が起り、成長戦略の変革が必要となってきた。この時代の変化とともに物流システムに求められるものも急速に変わりつつあり、それに対

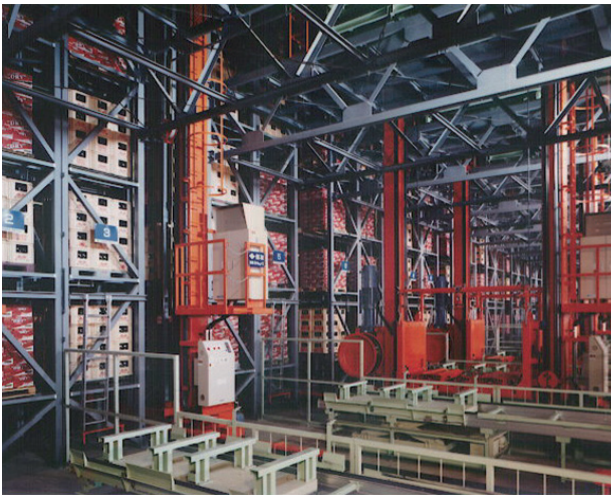


図2 ビール製品保管用自動倉庫
AS/RS for beer products

応した商品をタイムリーに供給することがメーカーとしての使命であるとも言える。

ここでは、アサヒビールに納入してきた物流システムの特徴を振り返るとともに、これからの物流システムの課題について述べることにする。

2 成長時代における大型自動倉庫

「スーパードライ」が発売されたのは1987年3月のことであり、日本初の辛口ビールとしてまたたく間に大ヒットしたのは記憶に新しいところである。当時のアサヒビールは、急速な売り上げ増加に対応すべく生産増能力を計画し、その一環として1991年に建設されたのが茨城工場(茨城県守谷市)である(図1)。

茨城工場のビール生産量は、当初大瓶換算で年間18万kLであり、さらに1999年のライン増設が図られ、現在年間75万kLの生産能力がある。関東一円の消費地に一番近い工場として、重要な役割を果たしている工場である。

そのなかで、当社は出荷製品保管用の自動倉庫を納入した(図2)。スタッククレーン計45台および総棚数34000パレットの大型倉庫は、24時間稼働の生産ラインと連結し全自動で入庫を行い、出荷においてはトラックへの積み込み時間の短縮を図って採用されたトラックローダとの連動を行っている。計画に際しては、製造ライン能力やピッキング設備との連携から高能力の搬送設備が要求されたことから、有軌道周回台車47台も導入したが、2期工事においては、ライン切替えや倉庫間移動能力なども考慮し、高速コンベヤシステムにて製造ラインとの連結を行っている。

また、1989年に発売した「びん内熟成ビール アサヒスーパーイースト」を熟成保管するエリアや、樽生ビールを保管するエリアも含まれており、1年を通して恒温保管することによってビールの品質鮮度向上に寄与した。

次に、1999年には関西地区の出荷能力向上に、吹田工場(大阪府吹田市)にも大型製品自動倉庫が導入された。本倉庫は、スタッククレーン24台および保管パレット数26880パレットの大型倉庫であり、茨城工場よりも高スピードのスタッククレーンが採用された。製造ラインと結ぶコンベヤライン(図3)は、各パレタイザからの自製品と、他工場からの転送



図3 高速コンベヤライン
High speed conveyor line



図4 無人フォークリフトシステム
Automated guided forklift system

品をバランス良く三つのゾーンに分配されるように構成しており、万一のダウン時にも代替ルートにて能力を落とさず入庫が可能になっている。本コンベヤの能力検証においては、物流シミュレーションソフトを用いてさまざまなパターンでの能力チェックを行った。

また、本工事は稼働中の工場内での建設工事であり、狭い工事スペースと短工期のなか、無災害で工事をやり遂げたことは工事関係者一同の努力に因るものである。

しかしながら、茨城工場や吹田工場に納入したような大型の製品自動倉庫は、設備投資費用が多額であるなどの理由により導入が増えず、2002年に新工場として建設された神奈川工場(神奈川県南足柄市)では、製品倉庫の新しい試みとして平置き倉庫に無人フォークリフトを組み合わせた仕組みが導入された(図4)。

本システムに導入された無人フォークリフトは、4パレットを一度に搬送することができる特大のバッテリーフォークリフトであり、ビールパレットを最大4段積みまで行うことができる。機構設計においては、床の施工精度、パレットの製作精度および荷の傾きなどを十分に考慮したうえで設計され、安全装置も二重、三重化がされている。ただし、受渡し動作精度の関係上、本無人フォークリフトは入庫作業にしか用いることができず、出荷作業は有人フォークリフトで行わ



図5 層ピッカ(自動ケースピッキング装置)
Automatic case picking system



図7 樽製品自動倉庫
AS/RS for beer barrel



図6 ピッキングフォークリフトシステム
Picking forklift system

ざるを得なかったことは、今後の自動化率向上に向けての課題であった。また、自動倉庫のように1パレット単位の在庫管理でなく平置き倉庫特有のゾーン管理であることから、製造ロットや品種が増えてきた場合の運用には難点がある。したがって、本無人フォークリフトシステムと自動倉庫システムを融合させた仕組みで、その場所の物流特性に応じたシステムの提供が今後も必要とされるものと考えている。

3 自動ピッキングシステムの進化

アサヒビールの商品物流は、1980年代までは全国に自社配送センター(DC Distribution Center)を多数持ち、そこから卸や小売の配送センターに出荷するという形態であったが、在庫の圧縮と鮮度向上に、1990年以降は各工場に出荷機能を持たせるスタイルに変換が進められた。そこで必要になったのが、工場倉庫に隣接するピッキングシステムである。

ピッキング作業とは、パレット単位よりも小さな数量の注文に対して商品を品揃えする作業のことであり、すべてを人手で行うことは非常に重労働であることから、その自動化設備の導入が行われた。

当社が納入した自動ピッキングシステムの初号機は、福島工場(福島県本宮市)に納入された層ピッキングシステムである。ここで採用された層ピッカは、従来品種固定であったも

のに対して多品種対応を行えることが特長としており、ビール・飲料含めて約200品種のケースサイズや段積みパターンを登録し、層単位にピッキングを自動で行うことを可能にした。層ピッカの前後には、補充倉庫・完成品倉庫という小型の自動倉庫を組み合わせることで、従来のピッキング作業を半分以下に軽減し、オーダー受信から出荷までのリードタイムも短縮することができた。

2002年に神奈川工場に納入した層ピッカ(図5)はさらに進化し、カートンケースのみであった自動ピッキングの範囲をプラスチックケースに入ったビンビールにまで拡大し、自動化比率の向上を図ることに成功した。当時ブームとなった小型ビンビール(スタイニー)の出荷に大きく貢献できたものとする。

また、層単位以下のバラケースのピッキングに対しては、全自動化の方向には進まず、無線端末を搭載したピッキングフォークリフトシステムを福島工場と神奈川工場に納入した(図6)。本システムにおいては、従来のピッキングリストによる作業に比べ、日々刻々と変わる在庫ロケーションを作業者が覚える必要がないことから新規作業でもピッキングミスが減り、出荷精度の向上が達成できた。また、ピッキング作業をしながら在庫の残数をチェックすることにより在庫精度も向上し、棚卸し時間の短縮や出荷欠品の削減にも寄与できたものと思われる。

また、これらのピッキングシステムを連動させ管理しているのが、当社のWMS(Warehouse Management System)である。ビールの出荷において特に重要であるのがロット管理および日付け管理であり、パレット保管エリアとピッキングエリアの異なる保管場所から出荷される商品のロットずれや日付け逆転が発生しないようケース単位での管理がされている。本工場で培ったWMSのベースラインは、後に食品配送センターシステムのWMSにも適用され、当社の実績の礎となっている。

4 樽製品保管自動倉庫

飲食店で提供される樽生ビールは、金属製の樽に詰められており、鮮度確保に工場では常に15℃以下の環境で保管することとなっており、当社は、茨城工場、神奈川工場および

吹田工場の3箇所に樽自動倉庫を納入している。

本自動倉庫は、夏場の高温多湿の時期においては保管している製品および倉庫内全体が結露に覆われてしまうことから、結露対策を十分に施す必要がある。最新の吹田工場に納入した設備(図7)では、過去の実験も踏まえながら結露対策を十分に行い、使用する電気品の選定や塗装仕様の強化、さらには水溜りができないような部品形状の設計を行っている。

5 これからの物流システムにおける課題

アサヒビールは2000年以降、ニッカウキスキー株式会社との営業部門統合や、焼酎メーカーの酒類部門の譲渡などを進め、また近年では食品メーカーの買収により、総合酒類メーカーあるいは総合食品メーカーへと変革されつつある。また、食の安全が取り沙汰されるなかでの更なる品質の向上や、環境保全に関しても重要な課題として取り組んでおり、これからの物流システムへの展開が必要である。

5.1 RFID(Radio Frequency IDentification)への取組み

アサヒビールでは、リターンブル資産へのRFID適用に着目し、炭酸ガスボンベへの取付けの実証試験を実施している(図8)。本システムの導入の狙いには、工場から出荷し顧客に届いたガスボンベが工場に返却されるまでの履歴を明確にすることにより、資産削減や作業の効率化があるが、同時にその流通経路を短縮してトラック輸送におけるCO₂の削減についてもその効果が確認されている。

適用範囲については、現状ガスボンベのみであるが、ビール業界における一番のリターンブル資産と言うと、ビン、プラスチックケースおよびパレットなどの容器類である。特にパレットは業界内での共用化がなされており、RFIDの適用が導入されれば、工場～卸・小売までの流通の中での商品のトレーサビリティにも有効活用が可能であると思われる。

それに対応する物流システムとしては、RFID読取り機能を付加したフォークリフトなどが考えられ、導入されればフォークリフト作業の効率化と精度向上が図られることは間違いない。

5.2 レイバーマネージメントの充実

前述したピッキング作業は、出荷時間帯の関係から夜間作業で行われることが多く、また重労働であることから作業員の定着率も高くない。そこでアサヒビールでは、レイバーマネージメントシステムを導入して作業分析を行い、より人に優しい環境下で作業ができるような研究を進めている。

これは、人と自然環境を大切にする企業理念の表れと思われるが、それに対応する物流システムとしては、無線端末を利用したピッキングシステムに作業分析機能を付け、詳細作業時間の実績を収集し、また分析結果を元にピッキング動線を最短化した作業指示を送るシステムなどが必要となる。いずれも熟練作業員の思考回路をロジック化することが容易ではなく実現には時間がかかると思われるが、その適用範囲は非常に広いものとなりうると考える。

5.3 環境保全への取組み

現状商品物流の大半はトラック輸送であり、そこでのCO₂の削減は大きな課題である。

そのなかで、我々物流システムメーカーのできることは限られてくるが、例えばトラックの積載効率を上げるパレット



図8 RFID実証試験
Study of RFID application

積付けソフトが実用化されれば、一つの解決手段となり得ると思われる。

6 むすび

- (1) アサヒビールの物流システム戦略の変遷とその要求に応えた当社の自動倉庫システムおよびピッキングシステムを紹介した。
- (2) ビール・飲料メーカーから総合食品メーカーへと変革しつつあるアサヒビールが新たな課題として取り組んでいる、RFID、レイバーマネジメントおよび環境保全に対して、物流システムメーカーの立場からみた対応について言及した。

アサヒビールの工場内物流システムの歴史を辿れば、当社物流システムのベースとなっている技術が多数見受けられ、アサヒビールの成長とともに当社も歩んできたと言っても過言ではない。今後、ビール業界の変革に伴い、物流システムに関してもそれらの課題を解決する仕組みが必要であり、我々物流メーカーとしても新たな製品開発に取り組むことが責務であると考えている。

最後に、最新の物流動向と課題について教示頂いた、アサヒビール物流システム部エグゼクティブプロデューサー島崎市朗氏に、深く感謝の意を表したい。

食品系排水における嫌気処理技術

Anaerobic Water Treatment Processing System of Food Waste Water

●村井 亘*
Wataru MURAI



BIOIMPACT®

1 はじめに

住友重機械エンバイロメント株式会社(SHI-EV)は、食品系業界向けの排水処理ではビール工場を初めとする嫌気性処理設備の納入実績が数多くあり、多くが前処理+嫌気性処理+好気性処理のフローをたどる。嫌気性処理は、エネルギー回収および地球温暖化ガスであるCO₂の削減の観点から、注目のプロセスである。

嫌気処理設備が一般的となる以前、食品系排水のような有機性排水処理は、好気性処理である活性汚泥法単独で処理が行われていた。しかし、必要エネルギーが大きいこと、余剰汚泥発生量が多いこと、および設置スペースの縮小が困難なことなどが問題であった。

SHI-EVは、省エネルギー、省スペースおよび低ランニングコストなどを実現した嫌気性処理設備BIOIMPACT®を製品として持つ。食品系排水に対し、排水の一部もしくは全量を嫌気性処理し、脱硫、脱窒および有機物の仕上げ処理として好気性処理(スミスラッジ®など)を行うシステムフローの提案している。BIOIMPACT®は、食品系排水を初めとする産業排水処理に多くの実績を持ち、国内主力メーカーとして位置づけられている。

2 嫌気性処理の原理

嫌気性排水処理装置は、酸生成菌やメタン菌などの嫌気性微生物の働きにより、排水中の有機物をメタンと炭酸ガス(バイオガス)まで分解することを利用した処理方式である。有機物の分解経路を次に示す。

- STEP 1 液化 多糖類、たん白質および脂肪などを低分子化し、可溶化する。
- STEP 2 酸生成 有機物を低級脂肪酸に分解する。
- STEP 3 酢酸生成 低級脂肪酸を酢酸に変換する。
- STEP 4 メタン生成 酢酸をメタンガスに変換する。

嫌気性処理は、有機物の分解に酸素を必要としないことから、曝気が不要であり、低動力で処理が可能である。また、活性汚泥法とは異なり、有機物のエネルギーの大半はメタンや炭酸ガスなどに分解される。微生物が利用するエネルギーは非常に僅かであり、増殖率が非常に小さく、余剰汚泥の発生が少ない。

3 嫌気性排水処理装置

高負荷型嫌気性排水処理手法として、グラニュール状メタン菌を利用したUASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)法、さらに高負荷型に改良したEGSB(Expanded Granular Sludge Bed)法が知られている。SHI-EVではUASB法の技術をベースに、設置条件および排水条件など適用範囲を広げた、EGSB式超高負荷嫌気性排水処理システムBIOIMPACT®を有している。本処理方式は、一般的な活性汚泥処理方式と比較し、次のような特長がある。

- (1) 高負荷処理でコンパクトである。
- (2) 曝気動力が不要で省動力されている。
- (3) バイオガスからエネルギー回収が可能であり、CO₂排出量の削減にも寄与している。
- (4) 微生物の増殖率が低く汚泥発生量が少ない。
- (5) 排水量や排水濃度の負荷変動に強く、運転管理が容易である。

SHI-EV保有の嫌気性処理装置のセグメントを、図1に示す。BIOIMPACT®は排水の水質汚濁の指標であるBOD(Biochemical Oxygen Demand)濃度と排水量に合わせ、適用機種を選定し、食品系排水を初めとする有機性排水処理設備に対し、約90件の納入実績を有している。

2006年には、これまで嫌気性処理が適用不可とされていた低濃度有機性排水にも対応できる嫌気性処理設備として、AquaSAT®をアサヒビール株式会社と共同開発、実機化した。

3.1 BIOIMPACT®システム

BIOIMPACT®システムは、酸生成槽と反応槽で構成する。排水は酸生成槽流入後に有機物が分解し、有機酸などの低級脂肪酸となる。次に、グラニュール汚泥を充填した反応槽に下部から流入する。グラニュール層を上向流で通過する際にさらに分解し、酢酸を経てバイオガスが発生する。メタノールなど基質の種類によっては、異なった経路で分解する。発生ガスを混合した排水は、グラニュール汚泥を容易に流動化することから、排水と微生物の接触効率が高くなる。槽の上部には、図2に示すセトラ(三相分離装置)を設置し、排水と

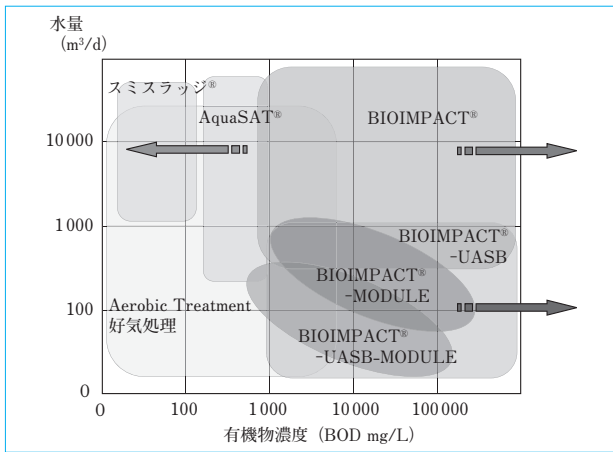


図1 生物処理装置のセグメント
Segmentation of biological treatment processes

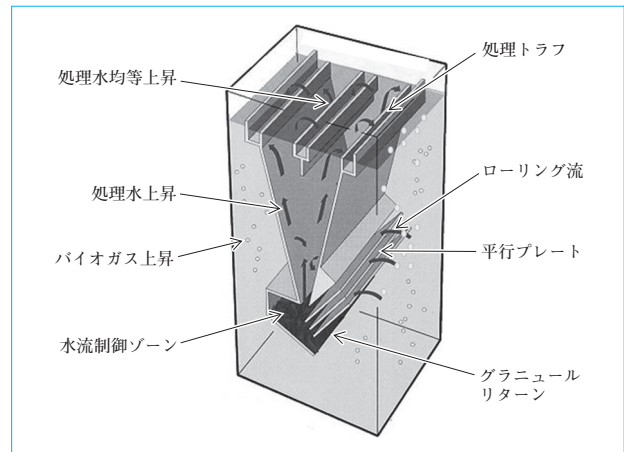


図2 セトラー
Settler

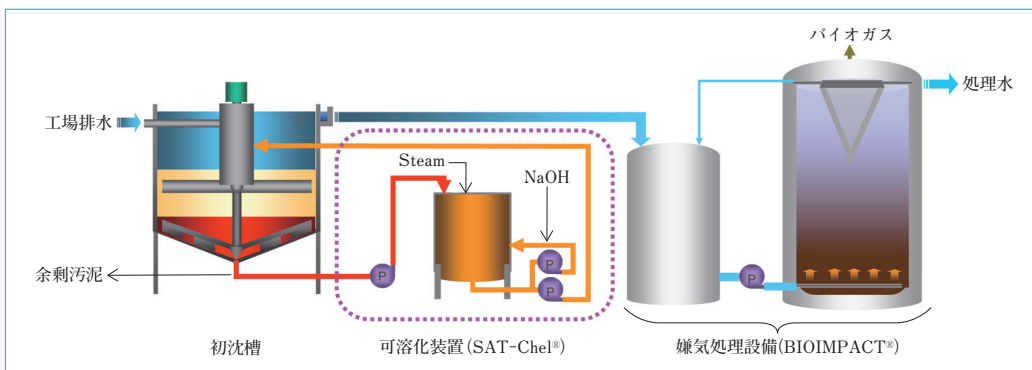


図3 SS可溶化フロー
Flow diagram of SS reactor dissolution

バイオガスおよびグラニューリ汚泥を効率良く分離している。BIOIMPACT®のセトラーは、高流速での分離を実現したことで、高負荷処理が可能となった。

3.2 AquaSAT®(アクアサット®)

AquaSAT®は、BOD500mg/L以下の低濃度排水に対応させている。パイロット試験では、ビール工場の嫌気処理水を対象とし3～9kg/(m³・d)の負荷でCOD_{Cr}除去率は約85%、飲料工場排水を対象とし3～6kg/(m³・d)の負荷でCOD_{Cr}除去率は80%以上⁽¹⁾と良好な処理結果を得ており、各種業界へ拡販中である。

3.3 SS(Suspended Solids 浮遊物質)可溶化装置

嫌気処理設備に高濃度のSSが流入すると、グラニューリ汚泥の流出や処理水質の悪化など、悪影響を及ぼすことがある。高濃度SSを排出する工場においては、初沈槽や加圧浮上槽を設置し、SSの流入を防止している。通常、初沈槽の引抜き汚泥や加圧浮上槽のフロスは余剰汚泥と混合し、脱水および場外搬出をしている。この処理エネルギーおよびコストは比較的大きい。そこで、SS可溶化装置SAT-Chel®が有効である。本システムフローを、図3に示す。

SAT-Chel®は、熱アルカリおよび機械的せん断力により可溶化を行うシステムである。効率的な温度コントロールとNaOH添加制御により最適な可溶化条件を維持し、可溶化槽で特殊な流れと効果的なせん断力を発生させ、可溶化率の向上を図っている⁽²⁾。可溶化液の上澄み中の溶解性有機物は嫌気処理し、メタンガスとしてエネルギー回収をし、引抜き汚泥量を減少する。特に比較的大規模の排水処理においては、

この装置を採用することにより、大幅な余剰汚泥の削減が見込める。

4 おわりに

- (1) SHI-EVの嫌気性処理設備を次にまとめる。
BIOIMPACT®(EGSB) 大型工場向けの超高負荷型
BIOIMPACT®-MODULE 超高負荷型モジュールタイプ
BIOIMPACT®-UASB 小～中型工場向けの高負荷型
BIOIMPACT®-UASB-MODULE 高負荷型モジュールタイプ
AquaSAT® 中～大型工場向けの低濃度対応型
SAT-Chel® 嫌気処理設備前段における初沈引抜き汚泥や加圧浮上フロスのSS可溶化システム
- (2) 食品系排水の有機性排水処理において、本製品群は省スペース、低ランニングコストで、メタンガスとしてエネルギー回収も可能であり、CO₂の削減にも寄与する。世界的に環境負荷低減を推進するなかで、最も注目するプロセスの一つであるといえる。

(参考文献)

- (1) 鈴木哲史ほか. 低濃度排水への嫌気性処理システムの開発. 第39回日本水処理学会年会, 2005, p.339.
- (2) 知久治之. 初沈汚泥可溶化による汚泥削減およびエネルギー回収. 第12回日本水環境学会シンポジウム講演集, 2009, p.225.

食品配送センターにおける物流システム

Physical Distribution System in Food Distribution Center

●宮谷 高之* 西前 健司*
Takayuki MIYATANI Kenji NISHIMAE

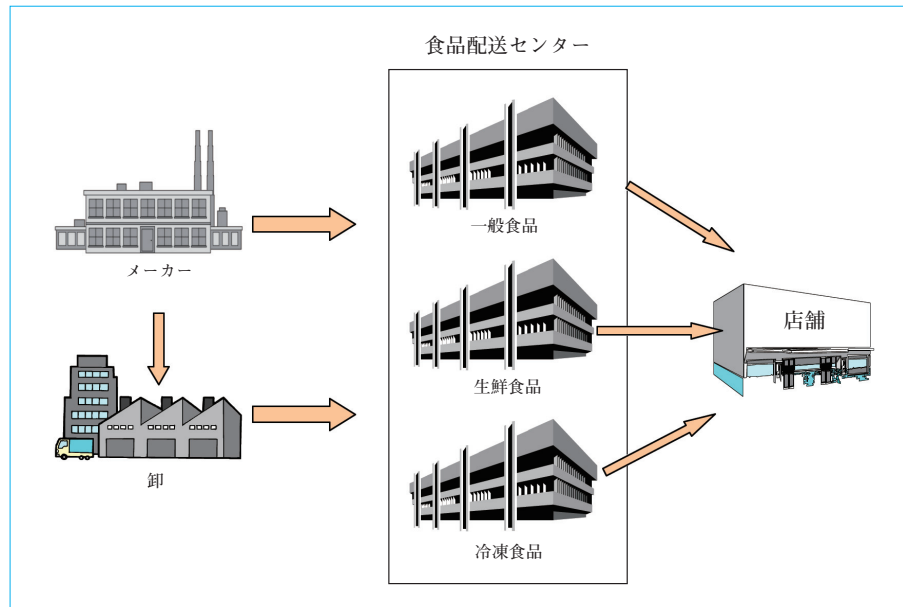


図1 一般的な流通フロー
General flow of logistics

食品配送センターとしての役割は、センターの運営・物流業務の効率化を正確かつ高い精度で実現するとともに、商品の品質を維持管理し、定時および定期配送を安定的に図ることにある。また出荷先に対しては、店舗オペレーションコストを削減し、検品作業を削減したいという要求を満たさなければならない。

倉庫管理システム(WMS)は在庫管理、食品の品質管理、さらには高い出荷精度といったパッケージ化された機能に加え、お客様特有のニーズをカスタマイズして実現している。

無線端末、デジタル表示器、ピッキングカートおよびソータなどの機器から最適なものを選択しサポートする。食品のカテゴリ別の管理特性、保管方法および商品の流通特性によって、加工食品および飲料などのドライ食品(DC)配送センター、賞味期間の短い日配品・チルド食品を扱う生鮮(TC)センターおよび冷凍食品保管用冷凍配送センターがある。

The role of a food distribution center is to provide stable fixed-time and fixed-term delivery by achieving efficient management and logistics operations of the center with high accuracy and by maintaining and controlling the quality of products. In addition, it must meet vendor requirements to reduce the store operation cost and reduce the inspection works. The warehouse management system (WMS) realizes customer-specific requirements as well as packaged functions such as inventory control, food quality control and high shipment accuracy by customizing them. The center selects and supports optimal items from equipment such as RF-terminals, digital display devices, picking carts and sorters. By food categories, there are various types of distribution centers, including dried food (DC) distribution centers for processed foods and beverages, fresh food (TC) centers for daily-delivered foods and chilled foods with short best-before periods, as well as frozen-food delivery centers for storing frozen foods.

1 まえがき

食品配送センターでは、コンビニエンスストア、スーパー、ドラッグストアおよびディスカウントストアなどのさまざまな業態の食品を扱っている。また食品には、ドライ食品(加工品および飲料)、チルド(日配品および魚肉など)、生鮮食品および冷凍食品などがあり、その品質を維持するにはそれぞれ特有の温度管理が必要な配送センターであることが大きな

特徴となっている(図1)。

また食品というカテゴリは、消費者と直結していることから、店舗でのサービスや食の安全に関する品質管理が食品配送センターに求められる。

食品配送センターを計画するうえで次の点に留意する必要がある。

- (1) 店舗オペレーションコスト削減
 - a. 安定供給によるタイムリーな納品

表1 カテゴリ別管理温度
Category based temperature control

カテゴリ	温度帯
冷食・アイス	-18℃以下
精肉/生魚	-2℃~2℃
和洋・日配	4℃~8℃
要冷野菜	8℃~12℃
デリカ・サンドイッチ	15℃~17℃
おにぎり	18℃~20℃
青果・パン・卵	常温

- b. 店舗での作業を負担軽減
- (2) 配送センターにおける運営業務支援

- a. 在庫管理, 出荷精度および生産性の向上の実現
- b. 賞味期限管理および鮮度管理の徹底

近年, 上記視点に加え, センター内で収集したデータを活用, 「見える化」して業務の改善を求められることが多くなってきている。

本報では, 温度管理の異なる食品配送センター(生鮮, ドライおよび冷凍配送センター)を構築した事例を紹介したい。

2 配送センターの運営を支える物流設備

2.1 倉庫管理システム

センターの管理を行う倉庫管理システム(WMS Warehouse Management System)に求められることは, センター全体の運営・物流業務を効率的に行うことはもとより, 管理運営業務を的確に遂行するうえでの判断材料である, 作業の進捗度および生産性などを把握するデータを収集し, タイムリーに提供できることが重要な要素の一つとなっている。倉庫管理システムは, お客様の上位ホストと連携を取りながら, 受入れから出荷にいたる必要な機能をあらかじめパッケージという形で準備し, これにお客様特有のニーズに合った形でカスタマイズしたシステムを提供している。

一般的に配送センターを計画するうえで, ローコストオペレーション(適正な作業人員, 在庫の適正化および倉庫スペース・最適設備の導入など)を前提として計画するが, 食品配送センターにおいては, さらに幅広い品揃え商品群と商品の保管量拡大への対応, 輸配送効率化, 店舗業務改善, 商品品質管理および高い出荷の精度といった要求機能がWMSに求められる。

「売れる商品を, 欲しいときに, 必要な分だけを, 欠品がなく」という, お客様の個別要求に応えるには, 食品の配送センターにおいて注文から配送作業まで正確かつ迅速なオペレーションを実行することである。

食品業界向けWMSの求められる具体的な機能のポイントは, 次に記述するとおりである。

2.1.1 定時・定期配送の実現

店舗への定時・定期配送は, 店舗での受入れ作業を簡素化するとともに, 定時納品によるバックヤードの混雑防止を図ることができ, 店舗作業者の生産性向上に大きく寄与する。

本来, 店舗作業者は消費者に対するサービスに多くの時間を振り向けるべきであるが, 一般に納品された商品の検品, 品出しおよび棚への陳列といった業務に多くの時間を費やしている。この店舗作業の生産性を向上させる改善策として, 次の2点があげられる。



図2 無線端末
RF terminal

- (1) カテゴリ別納品による陳列作業簡素化
同一カテゴリ商品は, 一つの容器にかためて納品する。
- (2) 検品時間の削減

店舗での荷受け時の検品をなくすには, センター内でのピッキング時の出荷精度を向上させることである。

数量差異の発生を防止するとともに, 積込み時の車両と貨物のチェック(誤配送防止)が店舗での商品販売における機会損失の防止に寄与する。当社システムは, センター内作業のバッチ編成および出荷検品機能を強化し, お客様のニーズに応えることにしている。

2.1.2 鮮度管理とトレーサビリティ

食品配送センターにおいては, 店舗への配送するまで食品のカテゴリごとに鮮度管理を行うことで, 品質を維持し, 常に鮮度の新しい商品を提供することが可能になる(表1)。鮮度維持には, センター全体を商品の特性に合わせた区画で温度管理を行い, 出荷バースの間に前室を設置することによって外部温度の影響を排除, また出荷品に保冷剤を投入し配送などを行っている。また, 食品には「消費期限」および「賞味期限」が設定されている。消費者の食の安全に対する高い意識のなかで, 配送センターではより厳格な鮮度管理とトレーサビリティが求められる。

在庫型センターにおいては, 入荷~出荷までの工程において, FIFO(First In, First Out 先入れ・先出し)管理し, 補充・ピッキングすることによって一定の鮮度管理を行っている。常に新しい日付のものを出荷する機能, 「賞味期限」逆転入荷のチェックおよび「賞味期限日」範囲指定出荷など, ハンディ端末を活用し実現している。

2.1.3 業績管理

先に述べたように, 業績管理を重視するお客様が増え, センターの目標達成の基準に対し業務内容を定量的に評価するには, 担当者ごとにつぎのような工程別生産性データを収集している。

- (1) 作業量(件数および点数)
- (2) 作業実績時間
- (3) 生産性(作業実績時間における作業量)

上記のような作業者の客観的評価データを元に, 作業者へフィードバックし, 作業の改善や出荷量に応じた作業者の適正配置に役立てていく情報を提供している。



図3 DPSピッキング
DPS picking



図4 仕分けソータ
Sorter



図5 ピッキングカート
Picking cart

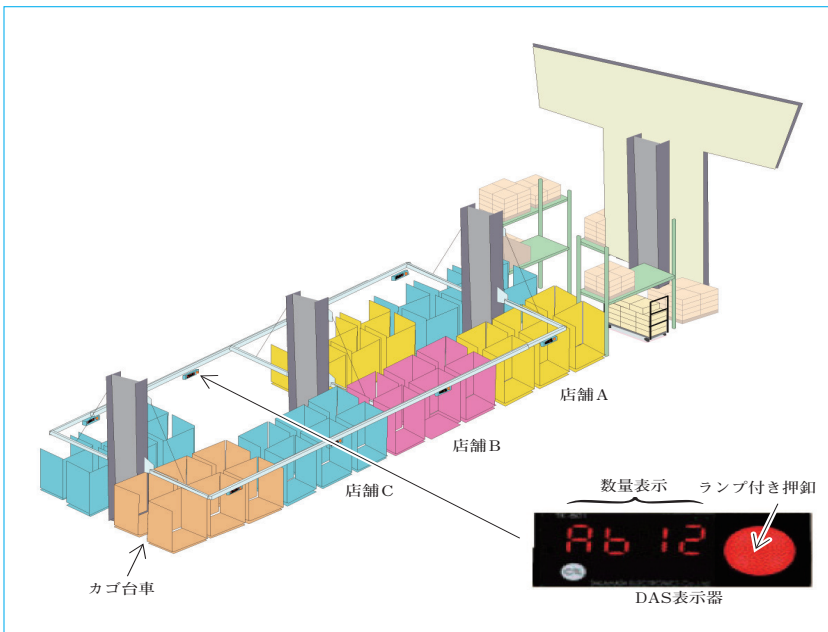


図6 生鮮(TC)配送センター(部分図)
Fresh food (TC) distribution center (Partial image)

3 出荷作業をサポートする機器

定番および特売などの販売形態や発注数単位によって納入する商品は、ケース単位またはバラ単位で出荷が行われる。出荷する手段としては、取扱う形状、店舗数の規模、出荷量および作業時間などの特性や要求品質に応じて選択される。次にその方式の一例をあげる。

(1) ケース出荷

a. 店舗別無線端末ピッキング(図2)

作業者が無線端末の表示に従って、保管されている棚内を回ってカゴ車に商品を積み込んでいく。

b. DPS一括ピッキング+ソータ仕分け(図3, 図4)

複数店舗分に相当する商品を一括でピッキングし、コンベアに搭載し、ソータで仕分ける。

(2) バラ出荷

a. デジタル表示ピッキング(図3)

点灯した棚から指示数の商品をピッキングしオリコン(折りたたみコンテナ)に収納する

b. カートピッキング(図5)

端末、ラベルプリンタおよびスキャナを搭載した台車に複数のオリコンを搭載し、表示に従って検品しながらピッキングを行う。

上記のようにいくつかのピッキングの方式があるが、熟練度を必要とせず(シンプル)、誰にでもできる(要員が確保しやすい)および作業ミスが少ない(誤出荷率の低減)を目的とした方式であることが共通の特長である。

4 配送センター納入事例

4.1 生鮮(TC Transfer Center)配送センター(図6)

日配品、チルドおよび青果などの食品は、製造・生産後の販売可能期間が比較的短く、基本的に毎日発注される商品である。鮮度が重要視されることから、在庫を持たず、各店舗で発注された数量の総量がセンターへ入荷され、これを店舗別に小分けし出荷する通過型センターと呼ばれている。また、倉庫の環境は商品の品質の維持に必要な設定温度で維持管理がされている。

センター内では、DAS(注1)表示器(1表示器/店舗)が店舗ごとに配置されたカゴ車上部にセットされているだけの、いたってシンプルな設備構成である。

入荷された商品の数量検品が終了し、検品リストに印字されたバーコードをスキャンすると、該当する店舗の表示器のランプの点灯および配分量が表示される。作業者は、この表示に従って商品をカゴ車に積付けていく。

従来運用では、配分リストを発行しそれを見ながらの作

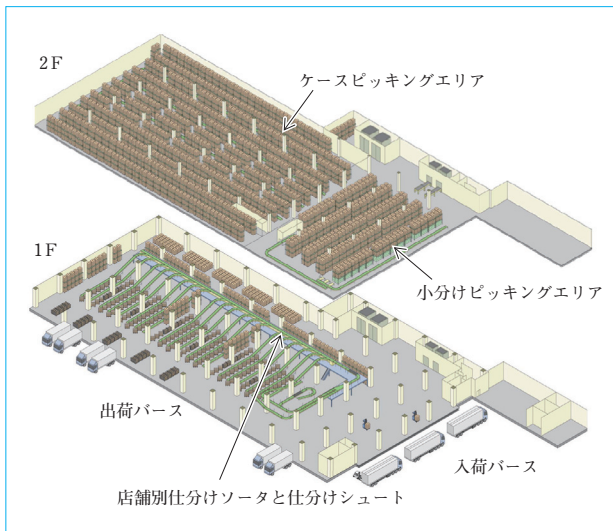


図7 ドライ(DC)配送センター
Dry (DC) distribution center

業であったことから、リストの確認や配分ミスが発生しやすかったが、今回このDAS方式を導入することで、点灯した位置に指定された数量を積み込むだけの誰でもできる単純な作業となり、作業効率を向上させることが可能となった。

(注1) DAS Digital Assort System

商品を店舗別仕分けする(種まき)方式で、デジタル表示器にて配分数量を表示し作業を支援するシステムである。

4.2 ドライ(DC Distribution Center) 配送センター(図7)

いわゆる常温で保管される在庫型センターで、保管された棚から商品をピッキングし、店舗から発注された商品をタイムリーに出荷するセンターである。出荷形態は、全160店舗を4グループ(パッチ)に分割し、その単位でピッキングを行う。このパッチごとに、センターからの輸送距離および納品指定時間などを考慮した配送計画が立案されている。

入荷検品には無線端末を使用し、商品コードおよび入荷予定数量を照合しチェックしている。さらに、各商品の賞味期間を個別に管理することで、入荷時に製造日の入力を行うと、入荷条件に合わない入荷が発生した際無線端末に警告表示を行っている。

在庫管理は、同一商品であってもすべて賞味期限別に、しかも保管しているロケーション別に管理されている

ピッキングはDPS(注2)方式と呼ばれ、生鮮センターと同様のデジタル表示器を使用しているが、その用途は異なるものである。この表示器は、保管されている商品ごと(品種単位)に固定の棚に設置されている。

DPS方式は、点灯した位置から指定数量(そのパッチ内の店舗で注文のあった総数)をコンベアに投入する一括ピッキング方式である。コンベアの下流には、仕分けソータを配置し店舗別に仕分けられる。このソータは、6000個/時で高速仕分けし、ケースに印刷されたバーコード情報をもとに店舗別に設定された19本のシュートに仕分けられる。仕分けする際、インクジェットプリンタにより、商品のダンボールケースに店舗コードおよびカテゴリコードナンバーを印字している。シュート作業者は、この印字情報を見てカートトラック台車に積み込んでいく。最大5カテゴリまで分類可能とし

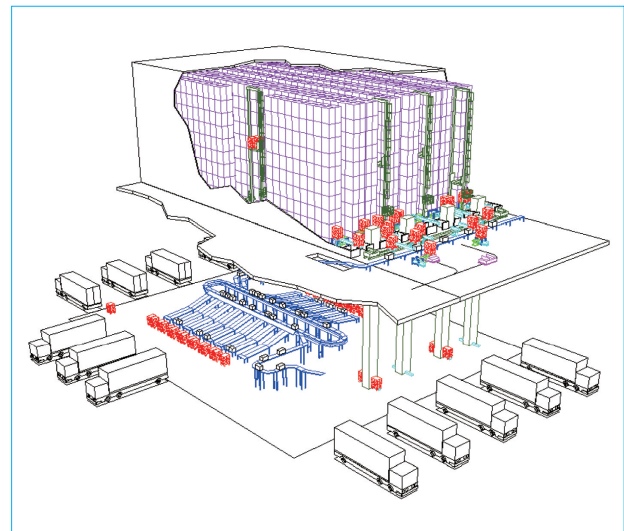


図8 冷凍倉庫配送センター
Frozen storage distribution center

ていることから、店舗での棚陳列が簡略化され、また、カートトラック台車は6輪付きで、操作性に優れ、女性にも操作が容易でかつ視認性に優れている。

(注2) DPS Digital Picking System

商品をデジタル表示器にてピッキングする数量を表示し、作業を支援するシステムである。

4.3 冷凍食品配送センター(図8)

生産ラインと保管設備が直結した、 -20°C の高層保管冷凍自動倉庫設備である。無人搬送車およびコンベア設備を組み合わせて、作業者にとって過酷な環境でのフォーク作業を一掃している。商品のピッキングから配送先別の仕分けおよびトラック積み込みまでの搬送リードタイムを極力短縮させるべく、コンベアおよび出荷仕分けソータを導入した。

5 むすび

- (1) 配送センターを計画するうえで、店舗オペレーションコストの削減およびセンター運営業務の効率化の必要がある。
- (2) WMSの導入による注文から出荷までのタイムリーな配送およびセンター内の確実なオペレーションを実現した。
- (3) オペレーションを実現する手段として、無線端末、デジタル表示器、ピッキングカートおよびソータなどを組み合わせ、最適なシステムを構築した。
- (4) ドライ(DC)、生鮮(TC)および冷凍食品センターなど各種食品配送センターを導入した。

今後、インターネットの普及および高齢者サービスなどの消費者ニーズの多様化によって、消費者が店舗へ足を運ばずに購入できるネットスーパーやオンラインショッピングなどが主流となってくるであろう。これに伴い現在の配送センターの商品管理方法や配送業務そのものが変化してくると予想される。当社としても、新しいモデルの配送センターの要求に応えられる提案や取組みを今後引き続き行いたい。

省スペース排水処理システム スミスラッジ®

Space-Saving Water Treatment System SUMI-SLUDGE®

●三井昌文*
Masafumi MITSUI



スミスラッジ®
SUMI-SLUDGE®

1 はじめに

食品工場向けの排水処理設備では、厳しくなりつつある放流規制値以下の処理水を安定して放流するとともに、近年の経済状況から、イニシャルコストおよびランニングコストの低減が強く求められている。また、設備の寿命、メンテナンス性および設置スペースなどに関する、さまざまなニーズに対応できる設備であることが求められている。

住友重機械エンバイロメント株式会社(SHI-EV)は、これらの要求に応じて、各種の処理技術の開発を長年にわたり推進してきた。

本報では、SHI-EVが持つ各種の処理技術のうち、活性汚泥処理と高速凝集沈殿装置「スミシクナー®」を組み合わせた「スミスラッジ®システム」について紹介する。

本処理システムは、従来の標準活性汚泥処理システム(曝気槽+沈殿槽+凝集沈殿槽)に比べて、低コスト、省スペース化および高性能を実現した処理システムである。また、食品排水中の有機物を処理するとともに、窒素およびリンの処理なども可能であり、多様な処理対象物に対応することができるシステムである。

2 処理フロー

スミスラッジ®システムの概略フローを、図1に示す。

本処理システムは、曝気槽、反応槽、高速凝集沈殿槽「スミシクナー®」および薬品添加設備より構成される。曝気槽から流出する活性汚泥混合液に無機凝集剤を添加してフロクの沈降性を高め、スミシクナー®で固液分離を行う。処理水SS(Suspended Solids 浮遊物質)濃度は10~20mg/L程度と、一般的な沈殿槽に比べ清澄な処理水が得られる。スミシクナー®下部から引き抜く濃縮した汚泥の一部は、曝気

槽の活性汚泥濃度(MLSS(Mixed Liquor Suspended Solids 混合浮遊物質)濃度)の維持に、曝気槽に返送し、残りは余剰汚泥として汚泥処理設備へ移送する。

3 スミスラッジ®システムの特長

スミスラッジ®システムは、従来の標準活性汚泥処理システムと比較して、低コスト、省スペース化および高い処理性能を実現した処理システムである。次に、その特長について述べる。

3.1 設備スペース

従来の標準活性汚泥処理システムでは、曝気槽からの活性汚泥混合液の固液分離に、水面積負荷8~12m³/(m²・d)程度の大きな沈殿槽を要し、放流規制値が厳しい地域では、さらに凝集分離設備を付け加える必要があった。スミスラッジ®システムは、活性汚泥処理の沈殿槽と凝集分離処理の沈殿槽を一体とし、さらに沈殿槽にスミシクナー®を適用することで、大幅な省スペース化を実現した。

また、従来の標準活性汚泥処理システムの沈殿槽では、曝気槽のMLSS濃度の維持に、沈殿槽などの固液分離設備から曝気槽に移送する返送汚泥のMLSS濃度が低く、曝気槽MLSS濃度を高く維持できず、容量の大きい曝気槽が必要であった。スミスラッジ®システムでは、スミシクナー®により高濃度の汚泥を曝気槽に返送することができることから、多量の活性汚泥を曝気槽に保持し、高負荷処理を実現することで、曝気槽が小型となる。

スミスラッジ®システムと標準活性汚泥処理システムの比較例を、図2に示す。この処理条件においては、標準活性汚泥法+凝集沈殿法では、25mφおよび16mφの二つの沈殿槽が必要となるが、スミスラッジ®システムの場合は、9mφのスミシクナー®1基で済むこととなり、省スペース化が図れる。余剰汚泥発生量はいずれのシステムも同等であるが、スミシクナー®からの余剰汚泥は高濃度であり、液量が少なく、汚泥処理設備を小型化することができるメリットも有する。

3.2 処理の安定性

従来の標準活性汚泥処理システムでは、バルキング現象など、活性汚泥の状態が悪化した場合、沈殿槽での固液分離性能が著しく低下する。このような場合、処理水SS濃度が上昇するとともに、高濃度の返送汚泥が確保できず、MLSS濃度の維持ができなくなる。その結果、処理システム全体が機能不全に陥る。

スミスラッジ®システムでは、万が一汚泥がバルキングした場合でも、無機凝集剤や高分子凝集剤を添加していることから、安定して汚泥を沈降分離することが可能であり、安定した処理水が得られる。

また、活性汚泥処理設備として、同様に活性汚泥を高濃度に維持して高負荷処理を実現する膜分離活性汚泥処理システ

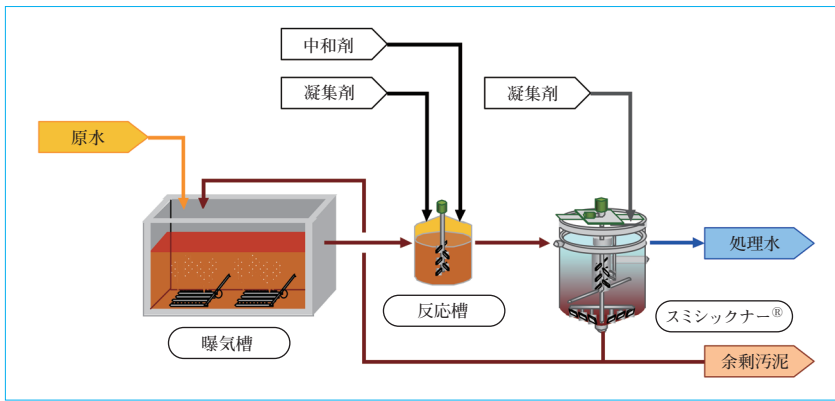


図1 スミスラッジ®システムフロー
Flow of SUMI-SLUDGE® water treatment system

●スミスラッジ®システム

●活性汚泥処理+凝集沈殿処理

処理条件			
処理量			
水質	原水	BOD 500mg/L	SS 500mg/L
	処理水基準値	BOD 20mg/L	SS 20mg/L

処理方式	スミスラッジ®システム	標準活性汚泥+凝集沈殿法
設備容量	調整槽 5000m³	調整槽 5000m³
	曝気槽 2500m³	曝気槽 2500m³
	スミシクナー® 9mφ	沈殿槽 25mφ
		凝集沈殿槽 16mφ
設置スペース	35×50m (調整槽は除く)	55×65m (調整槽は除く)
汚泥発生量	引抜き汚泥 72m³/d (濃度3%)	引抜き汚泥 215m³/d (濃度1%)
	脱水ケーキ 11t/d	脱水ケーキ 11t/d

注1 原水SSの50%は、生物分解を受けるものとした。
注2 脱水ケーキ量は、含水率80%とした。

図2 スミスラッジ®システムと標準活性汚泥法の比較
Comparison between SUMI-SLUDGE® water treatment system and conventional activated sludge water treatment system

ムと比較した場合、物理的に脆弱な膜などを使用しないスミスラッジ®システムは、ハード面での耐久性が高い。さらに膜分離装置のように長期運転による能力低下や、閉塞による能力低下といった心配がなく、長期間の安定した処理が可能である。

3.3 コスト

スミスラッジ®システムでは大きな沈殿槽が不要であり、曝気槽をコンパクトにできることから、標準活性汚泥処理システムより低コストである。

スミスラッジ®システムと膜分離活性汚泥システムと比較すると、曝気槽の大きさは同等であるが、スミシクナー®は膜分離装置に比べて安価である。また、膜分離装置のように定期的な膜交換費用は不要であり、ランニングコスト面でもスミシクナーは非常に有利である。

4 スミシクナー®

これまで述べてきたようなスミスラッジ®システムのさまざまな特長は、スミシクナー®を処理システムに組み込んだことにより得られたものである。ここでは、スミシクナー®の機能について解説する。

スミシクナー®は、凝集フロックの成長促進とフロックの持つ沈降速度を効果的に発揮させるように開発された凝集沈殿槽であり、約180件の納入実績を有している。

槽内に設けられたミキシングチャンパでフロックを成長さ

せ、沈降性の良好な大きなフロックを形成する。凝集フロックを含む原水は、水槽下方に設けられた低速回転するディストリビュータから、槽内に供給される。沈殿槽の断面積全体を有効に使用できる原水の供給装置と、処理水の抜き出し構造を採用し、高流速でも均等な上昇流を形成できる。したがって、凝集フロックは良好に沈降分離され、清澄な処理水が得られる。ディストリビュータの下方には汚泥濃縮部が設けられており、活性汚泥の場合、引抜き汚泥を2～3%に濃縮することが可能である。

5 むすび

食品工場向けの排水処理設備のさまざまなニーズに対応することができるスミスラッジ®システムは、次のような特長を持つ。

- (1) スミシクナー®を適用することで、大幅な省スペース化を実現した。
- (2) 安定して清澄な処理水を得ることが可能である。
- (3) 沈殿槽が不要であり、曝気槽が小さく済むことから、標準活性汚泥処理システムより低コストである。
- (4) スミスラッジ®システムは、イニシャルコストおよびランニングコスト面でも非常に低コストである。
- (5) スミスラッジ®システムの特徴であるスミシクナー®は、ミキシングチャンパやディストリビュータといった特殊な構造・機能を持つ高速凝集沈殿槽である。

プラスチック食品用薄肉容器加飾成形システム

Decorative Molding System for Thin Plastic Food Containers

●小林 彰 久*
Akihisa KOBAYASHI



インモールドラベリングシステム
In-mold labeling system

身近なプラスチック食品容器には、射出成形加工で製造されたものが数多くある。近年の食品容器には、デザイン性の他に内容物により、遮光性やガスバリア性の要求がある。従来の製造方法は、射出成形により容器を成形し、その後印刷されたラベルを貼り付けるというものであった。近年では、印刷されたラベルを金型内に挿入し、射出成形を行う、インモールドラベリング成形法も確立されている。製造工数が少なくできるので工場内の物流コストの削減、工場管理の容易性および高スペース効率を実現可能になっている。

インモールドラベリング成形法は、金型、ラベルインサート装置および射出成形機のシステムが必要であり、各装置にはそれぞれ特長的な性能および機能を保有している。また、ラベルにも上述の遮光性やガスバリア性を向上させる工夫が施されている。

Many familiar plastic food containers are manufactured with injection molding. In addition to design, recent food containers are required to have light-blocking effect and gas barrier property depending on their contents. With the conventional production process, a container was formed with injection molding, then a label was affixed to the molded container. Recently, in-mold label molding, in which a printed label is inserted in a die before injection molding, has also been established. Since the production man-hours can be reduced with this molding method, the reduction of the logistic cost at the plant, facilitation of plant management, and high space efficiency can be achieved. The in-mold label molding requires a die, label insert equipment, and an injection molding system, and each of these devices has a characteristic performance and function. The label is specially designed to improve the above-mentioned light-blocking effect and gas barrier property.

1 まえがき

プラスチック食品容器の製造方法として、射出成形があり、近年の要求として、形状としての薄肉・軽量化、生産性の向上、そして意匠性およびデザイン性の要求が高まっている。当社では、射出成形機、金型およびラベルインサート装置(商品名 SIMPAC)をシステムアップした、インモールドラベリングシステムの製造・販売を行っている。

インモールドラベリングは日本が多様化で先行しており、

- (1) 中肉平面 アイスクリーム容器蓋
- (2) 薄肉容器 デザート容器
- (3) 薄肉深容器 コーヒー飲料

に分類され、(1)では美粧性および微細印刷が、(2)、(3)ではさらに遮光性およびガスバリア性の要求が加わる。

図1に示すように、身近なプラスチック食品用容器にインモールドラベリングシステムによって製造された成形品が数多くある。

2 インモールドラベリング成形法

インモールドラベリング成形法は、印刷されたラベルを金型に挿入し、その後射出成形することで、ラベルと一体化した成形品を得ることができる加飾成形方法である(図2)。

システムは、射出成形機、オリジナル金型およびラベルインサートシステムから構成される。加飾方法比較をすると(表



図1 インモールドラベリングによる身近な製品
Familiar products of in-mold labeling

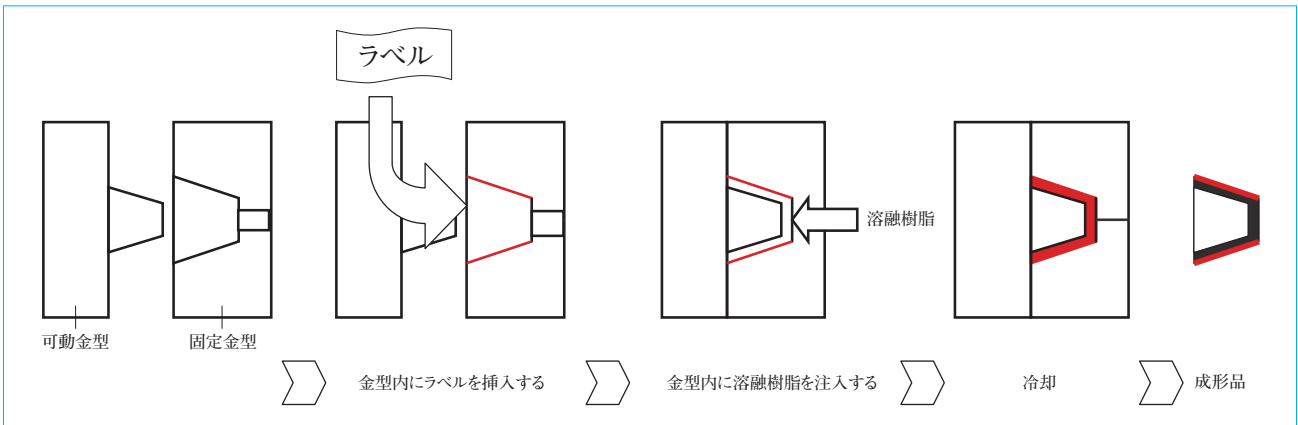


図2 インモールドラベリング成形法
Method of in-mold labeling

表1 加飾方法比較
Comparison of decoration methods

	大ロット時コスト	小ロット時コスト	美粧性	バリア性	薄肉化	備考
IML	○	△	◎	◎	◎	ラベル交換だけで多品種対応可能 工程が少ない 品質確保が容易
粘着ラベル	△	○	○	△	×	ラベル交換だけで多品種対応可能 剛性が低い成形品には上手く貼れない ラベル剥がれおよび浮きなど品質確保の手間 台紙が必要であるのでIMLラベルより高価
シュリンク	○	△	△	×	○	ラベル交換だけで多品種対応可能 ラベル材質の制約 印刷面の歪み
多色印刷	◎	×	×	×	×	段取り替えおよび色替えに手間がかかる 溶剤の使用および廃対策など工場環境の制約 曲面印刷では設備費用が高い
熱転写	×	○	○	×	△	ラベル交換だけで多品種対応可能 設備は安いフィルムが高価 転写面が傷つき易い

1)、インモールドラベリングは、美粧性、バリア性および薄肉化に優れており、ラベル交換だけで多品種対応が可能、工数が少ないおよび品質確保が容易という特長がある。

通常の一般的な製造プロセスでは、(1)成形、(2)整列、(3)梱包、(4)ストック、(5)開包、(6)印刷準備、(7)印刷、(8)印刷準備、(9)印刷、(10)整列、(11)梱包および(12)出荷となる。インモールドラベリング成形では、(1)で成形と加飾(印刷)を同時に行うので、(4)~(11)の製造プロセスが不要になり、工場内の物流コストの削減、工場管理の容易性および高スペース効率を実現できる。

3 ラベル

ラベルには、美しい仕上がり、容易なバリエーション対応および内容物の保護が要求される。美しい仕上がりに対して

は、ラベルの印刷層が内側にあり、熱で溶着するので発色が良く、傷に強く、剥がれにくく、水に強いことにより実現される(図3)。また、表現力の高いグラビア印刷が使用できることから内容物の高級感を容器で表現できる、アルミ蒸着フィルムに黄色を重ねることで箔押しよりも安価にきれいな金色が表現できる、および小さな文字・多くの情報量を鮮明に記載することもでき、透明ラベルとの組み合わせで内容物を見せてアピールすることもできるなどの特長がある。同じ金型でも、ラベルを変更するだけで、多彩なバリエーションへの対応も可能である。さらに、ガスバリア性および遮光性のあるラベルと使用することにより、内容物の賞味期限を延長させることも可能となる。

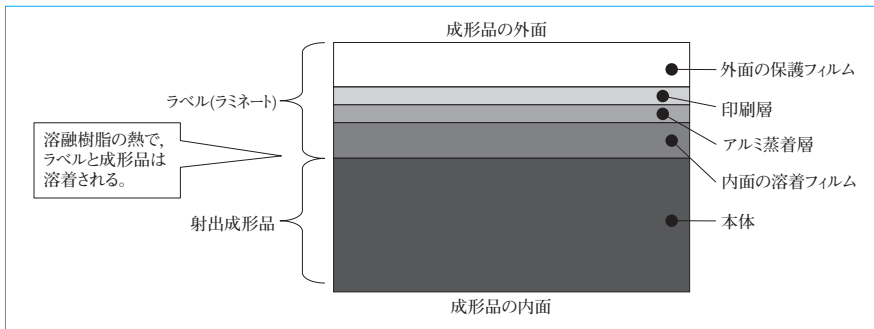


図3 成形品の断面
Molding sample section

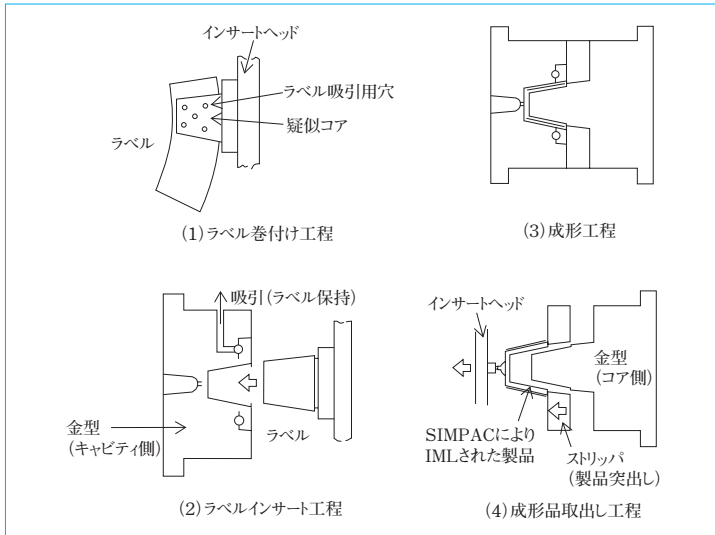


図4 ラベルインサートのプロセス
Process of label insert

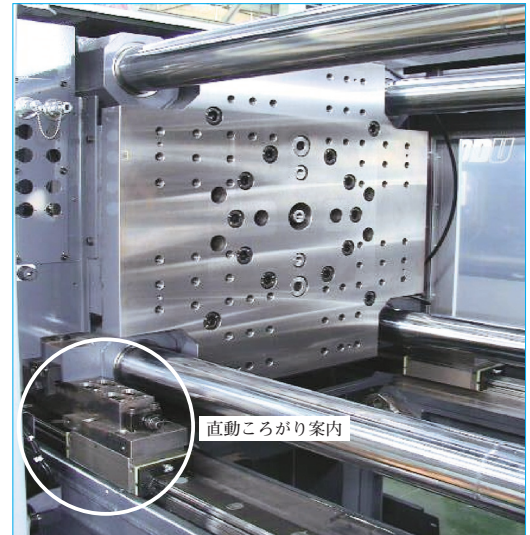


図5 可動プラテンのサポート装置
Support equipment of movable platen

4 高耐久・高精度金型

当社のハイサイクル薄肉容器用金型の特長を次に示す。

- (1) 最適な製品形状やオリジナルホットランナおよび冷却回路により、成形品の薄肉(計量)化やサイクル短縮が実現可能である。
- (2) 1個取りから128個取りまで安定した良好なキャビティバランスおよび個々の位置決めにより、偏肉対策や薄肉化といった高精度を実現している。
- (3) 総焼入れ金型材を使用することで高耐久性を実現し、メンテナンスにより1000万ショットを越える金型も市場で多数存在している。

インモールドラベリング用金型では、ほとんどのラベルに対応できるようにキャビティよりラベルを吸引する金型構造になっており、最大12個取りまでの実績がある。また、成形品の形状で底部(ゲート部)が上げ底になっているものには、ムービングキャビティと呼ばれる上げ底になっている部分を空圧シリンダにより型開動作時に可動させ、金型から離型を促進させる装置も準備している。

5 ラベルインサート

ラベルインサートのプロセスを次に示す(図4)。

- (1) ラベル巻付け
射出成形機の射出工程中にラベリング装置で行われる工程で、インサートヘッドに取り付けられている疑似コア

にラベルを吸引する。

- (2) ラベルインサート工程

射出成形機の取出し工程で行われる工程で、金型キャビティにラベルを挿入し、金型キャビティ側で吸引し、ラベルを受け渡す。

- (3) 成形工程

射出成形機の充填工程で、ラベルと樹脂を一体化する。金型内にラベルを挿入した場合、成形品(充填した樹脂部)の肉厚は薄くなるが、ラベル自体での断熱効果により、樹脂充填は容易になる。

- (4) 成形品取出し工程

金型のストリップにより金型コアから製品を取り出し、インサートヘッドに受け渡す。このとき、金型キャビティ側は(2)のラベルインサート工程が行われる。

6 射出成形機

生産性向上の多数個取りおよびハイサイクル化(高スループット)の要求が高い。これらのニーズの対応に、SE-DUZシリーズの特長である高速・精密・ハイサイクルという優れた性能をさらに向上させた「SE180DUZ-PACK機」をリリースしている。

多数個取りの金型は、当然大型になる。金型搭載時の可動プラテンの沈み量や倒れ量を低減させる必要があることから、図5に示すように、可動プラテンのサポート装置には直動の転がり案内装置を装備している。これにより、金型ガイドピ



ラベルデザイン1



ラベルデザイン2

図6 成形品サンプル
Molding samples

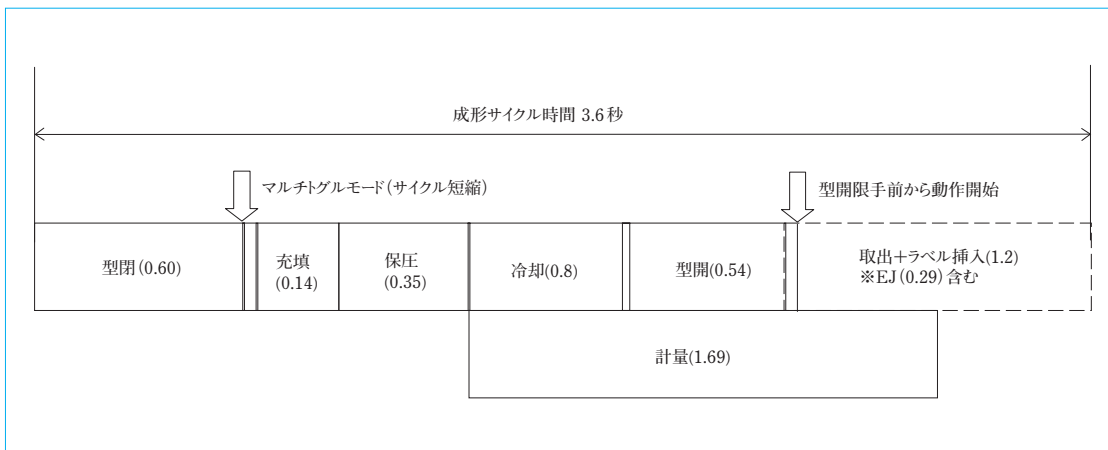


図7 サイクル時間分析
Cycle time analysis

ンの摩耗低減や金型メンテ周期の大幅アップなどが期待される。また、搭載金型質量は、標準機970kgに対し本機1600kgで、約1.6倍にアップしている。

なお、本機では可動プラテンのサポートを上記直動転がり案内装置で支持していることから、タイバーと摺動するタイバーブッシュにグリースを給脂する必要がない。そこからの廃グリースの流出を心配する食品関連の顧客からは、非常に高い評価を得ている。

型開閉速度を標準機の約1.5倍にアップさせることで、最小型開閉時間を標準機に対して約15%短縮させ、ハイサイクル成形を実現している。また、機械振動を低減させるべく、型開閉の制御アルゴリズムを見直して型開閉時間の短縮と低振動化の両立を実現させた。さらにプラスチック材料を熔融させるスクリュ装置には、可塑化能力(単位時間当たりの熔融樹脂量)を向上させたSMスクリュも選択可能になっている。

7 システム性能事例

次の諸条件にて、サイクル時間3.6秒を達成している。

成形機 SE-180DUZ PACK仕様

成形品 食品用加飾容器(図6)

取数 2

樹脂 PP(ノバテック MG05ES)

成形品質量 13.0g(ラベル込み)/PC

成形サイクル分析は、図7のような構成になっている。

8 むすび

(1) プラスチック食品容器の製造方法としてのインモールドラベリングシステムの

- a. インモールドラベリング成形法
- b. ラベリングに使用されるラベル
- c. 金型
- d. レベルインサートの工程
- e. 射出成形機
- f. システム性能事例

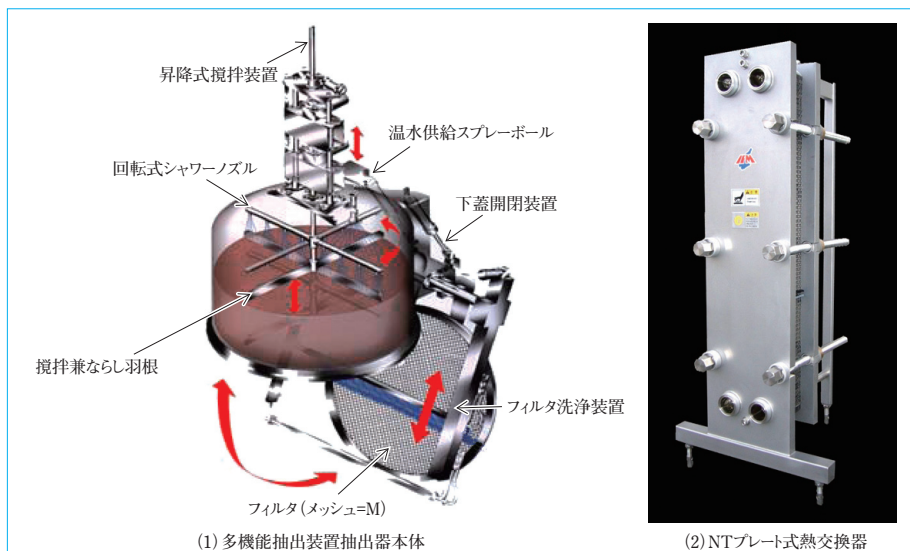
について説明した。

(2) 生産性向上にはハイサイクル技術が必要である。ハイサイクル化により品質低下は許されないことから、各装置では精度などの向上についてもさまざまな改善および改良が加えられていることも言うまでもない。

多機能抽出装置と殺菌装置NT式熱交換器

Multi Purpose Extractor & NT Plate Heat Exchanger

●杉 船 大 亮* 安 原 裕 介*
Daisuke SUGIFUNE Yusuke YASUHARA



多機能抽出装置とNTプレート式熱交換器
Multi purpose extractor & NT plate heat exchanger

1 はじめに

食品の「飲料」や「だし」の製造設備で主な役割を担っている「抽出装置」と「殺菌装置」に対して、株式会社イズミフードマシナリ(IFM)の特徴のある製品、「多機能抽出装置」と「殺菌装置NTプレート式熱交換器(熱交)」について説明する。

食品業界では対象原料の種類および用途に応じてさまざまな抽出装置があり、それぞれにおいて設備の特徴も異なる。

食品業界で使用される抽出原料の種類としては、飲料用ではコーヒー豆およびお茶類の茶葉、だし用では魚類の節および乾燥コンブなどがある。また、抽出液の用途は缶・ペットボトル飲料および菓子・アイスクリームなどへの添加物、ストレートめんつゆ、濃縮つゆおよび業務用の高濃度エキス等々、多岐にわたる。したがって、設備としての特徴も原料や用途に応じて異なり、要求される機能が異なる。

ここでは、食品業界における抽出装置およびIFMで扱う多機能抽出装置について、その特徴、抽出実験例および今後の課題を紹介する。

さらに、食品製造プロセスにおいて、殺菌・冷却工程は必須のものであり、その工程を担う液体食品用連続処理装置の代表として、プレート式殺菌装置があげられる。

近年ますます食の安全に対する関心が高まるなかで、安全性を向上させることはもとより、環境に配慮しエネルギー削減などを考慮することも強く要求されている。プレート式殺菌装置の主なニーズを次に示す。

- (1) 連続運転時間延長と中間CIP(Cleaning In Place 定置洗浄)削減による省エネルギーと生産性向上
- (2) 洗浄時間短縮による生産性向上と省エネルギー
- (3) 熱回収システムの利用によるユーティリティ使用量削減
- (4) 製品ロス削減による省資源と省エネルギー

IFMでは、これらのニーズに応じて、システム構築など熱交周辺のさまざまな対策とともに、熱交本体の技術を高めてきた。

ここでは、その熱交本体の技術について、連続運転時間延長の障壁である内部の偏流をなくし均一な液流れを実現したNTプレート式熱交の事例を取り上げ、報告する。

2 多機能抽出装置

2.1 概要

食品業界で使用される抽出装置には、主に次のニーズがある。

- (1) 抽出効率が良い。
- (2) 高濃度な抽出液が得られる。
- (3) 多様な形態の原料から抽出することができる。
- (4) 仕込み量の変化に対応できる。
- (5) 多様な抽出方法および抽出条件を実現できる。
- (6) 自動洗浄が可能である。
- (7) 高温多湿な作業環境とならない。

IFMの多機能抽出装置は、上記すべてのニーズに対応することができる。上記のニーズを踏まえたうえで、多機能抽出装置の機能および技術を紹介する。

2.2 主な抽出装置

2.2.1 多機能抽出装置

冒頭図(1)に多機能抽出装置抽出器本体を、図1に多機能抽出装置のシステムと浸漬式運転フローを示す。多機能抽出装置では、原料を投入し均等にならし、原料層の上からシャワーリングし、原料層を通過した温水が抽出液となってフィルタの下に流下するドリップ式と、温水と原料を投入した後で攪拌をして抽出する浸漬式の両方の抽出方式が可能である。多機能抽出装置での対象物としては、従来は主にコーヒーとお茶類であったが、ここ数年は魚類の節および乾燥コンブな

表1 各種抽出装置の特徴
Characteristics of extractors

No	項目	多機能抽出装置	ニーダ方式	混合タンク方式	抽出かご方式	スラリー連続抽出方式
1	抽出液払出し方式	下蓋とサイドスクリーン(オプション)	抽出器反転→粕分離タンク→抽出液受けタンク	スラリー排出→シフター→抽出液受けタンク	抽出液のみそのまま払出し	スラリー排出→遠心分離機等→抽出液受けタンク
2	粕分離方式	抽出液払出しによる	粕分離タンクのフィルタにて	シフタの篩にて	抽出かごをリフタで引上げ	遠心分離機などにて
3	繰返し抽出	可能	不可能	不可能	可能	不可能
4	構造	密閉	開放	通常密閉	開放	密閉
5	作業性	良好	高温高湿	通常良好	高温高湿	良好
6	洗浄性	自動洗浄, CIP	抽出器, 粕分離タンクおよび抽出液受けタンク手洗浄	シフタ手洗浄	抽出タンクおよび抽出かご手洗浄	遠心分離機などを手洗浄
7	抽出効率	○	△	△	×	○
8	適応品種例	コーヒー, お茶類, だし, 各種エキスおよび漢方薬	お茶類, だしおよび各種エキス	お茶類, だしおよび各種エキス	お茶類, だし, 各種エキスおよび漢方薬	コーヒー

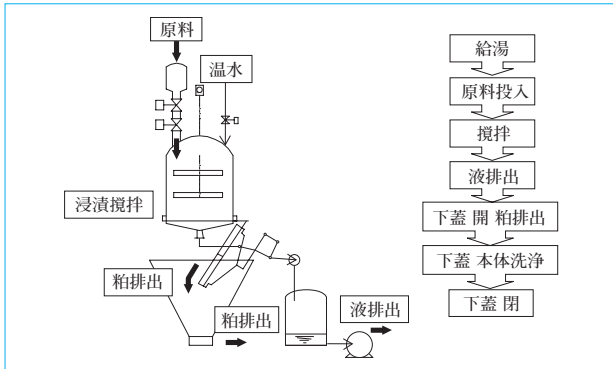


図1 多機能抽出装置のシステムと運転フロー
System & operation flow of multi purpose extractor

どもも多く使用されてきており、対象物の幅が広がってきている。多機能抽出装置では、ろ過網の付いた下蓋の自動開閉で粕分離と粕排出が非常に簡単であり、すべての部分でCIPまたは自動洗浄が可能である。また、密閉構造から、作業環境が高温多湿になることもなく、最も先進的な抽出方式であると言える。

2.2.2 その他の抽出装置

他の抽出装置として、ニーダ方式、混合タンク方式、抽出かご方式およびスラリー連続抽出装置などが用いられている⁽¹⁾。表1に、各種抽出装置の特徴を示す。多機能抽出装置以外の抽出装置では、作業環境が高温多湿になる、自動洗浄できない、抽出効率が悪い、および抽出液の清澄度が悪いなどの問題がある⁽¹⁾。

2.3 他の抽出装置に対する優位性

多機能抽出装置は、IFM独自の開発製品である。他の抽出装置にはない機能および技術を次に示す。

(1) 高温高圧抽出仕様

最大135℃×0.3MPaの高温高圧条件での抽出が可能である。

(2) 抽出器内エア加压で抽出液強制排出

抽出器内をエアで加压することにより抽出粕を水切り可能であり、これにより抽出液の収率を向上させ、抽出粕の水分を低減することが可能である。

(3) 攪拌およびシャワーノズル自動昇降機能

原料のならしと攪拌の機能を兼ね、ドリップ式抽出時に使用するシャワーノズルの高さを自動で変化することが可能である。これにより仕込み量や原料の種類の変化に対応することが可能である。

表2 多機能抽出装置の各種抽出方式の特長
Characteristics of extract operations of multipurpose extractor

			抽出方式				アロマ回収式
			エキス抽出方式				
			ドリップ式	半浸漬式	浸漬式	循環式	
原料の種類などへの対応	固形状原料	粉末	△	◎	◎	◎	
		5mm 篩通過する大きさ	◎	△	◎	◎	
		5mm 篩通過しない大きさ		◎	△	◎	
	葉状原料	柔らかい茶葉	◎	◎	◎	◎	
		硬い茶葉	◎	◎	◎	◎	
		昆布細切れ	◎	◎	◎	◎	
昆布葉状 (100mm 角以下)			◎	◎	◎		
	昆布葉状 (100mm 角以上)		◎	◎	◎		
抽出液の最終用途	飲料, ストレートつゆおよび数倍濃縮つゆ	◎	◎	◎	◎		
	業務用高濃度エキスおよびパウダ	◎	◎	△	△		
	添加用香料およびアロマ					◎	
前処理	原料からの脱臭					◎	
	原料層の温度調整					◎	
原料と溶媒の接触時間コントロールできる			◎	◎	◎		
抽出液の清澄度		◎	◎	△	◎		

(4) 回転式シャワーノズル

回転式シャワーノズルとすることで、均等なシャワーリングを可能とした。これにより原料層に抽出むらが生じず、抽出液の品質および抽出効率を良好にすることが可能である。

2.4 多機能抽出装置の多様な抽出方式

多機能抽出装置が有する各種抽出方式の特徴を、表2に示す。これより原料の種類、最終製品の形態および品質要件などに応じて最適な抽出方式を選定して、適用できるのが分かる。

2.5 抽出例

多機能抽出装置の多様な抽出方式を用いて数多くの抽出実験を行ってきたが、ここではドリップ式抽出による高濃度エキス抽出実験例を二つ紹介する。ドリップ式抽出は工業的なコーヒーメーカーのシステム・抽出方法であるが、その他にお茶類や鰹節からの高濃度エキスを抽出する方法としても適用できる。ドリップ式では原料の層を温水が通過することにより抽出をすることから、抽出初期に高濃度の抽出液が得られ、かつ抽出した成分が原料(抽出粕)へ戻ってしまう現象が生じない。加水倍率や給湯時間の設定次第で、高濃度エキス抽出に適用することが可能である。

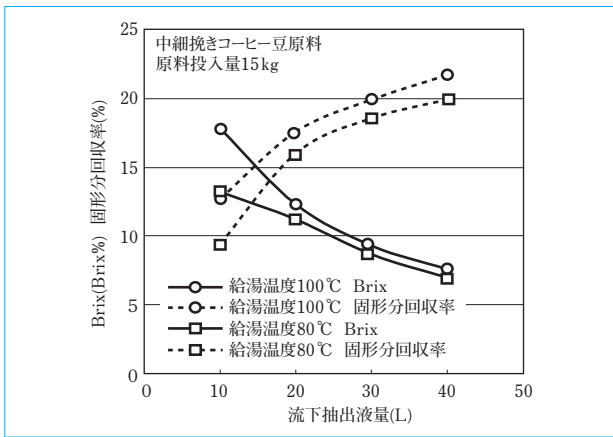


図2 ドリップ式抽出のコーヒー抽出液のBrixデータ例
Examples of brix data of drip coffee extract

2.5.1 ドリップ式抽出によるコーヒーの高濃度エキス抽出

図2に、ドリップ式のコーヒー抽出液のBrixデータ例を示した。図3の抽出液量は、ドリップ式抽出時にろ過網下に連続的に流下した抽出液量であり、Brixは屈折光度計による抽出液の濃度である。固形分回収率は、次の式にて算出される。

$$\text{固形分回収率(\%)} = \frac{\text{Brix(Brix\%)} \times \text{抽出液量(kg)}}{\text{原料投入量(kg)}}$$

缶入りブラックコーヒーのBrixは1.0~1.5Brix%程度であるのに対し、図2では非常に高いBrixの抽出液が得られているのが分かる。また、抽出液の用途にもよるが、飲料用ブラックコーヒーとして利用する抽出液としては一般的に固形分回収率が20~25%程度であれば、良い成分が十分に抽出され、エグ味のない抽出液であると言われている。図2の抽出液は、その範囲に入る抽出液である。

2.5.2 ドリップ式抽出によるかつおだしの高濃度エキス抽出

図3に、ドリップ式のかつおだし抽出液のBrixデータ例を示した。一般的にストレートのめんつゆ用のだしエキスのBrixは0.5~1.0Brix%程度であるが、それに対し図3の抽出液は非常に高いBrixの抽出液が得られているのが分かる。また、原料の種類にもよるが、一般的に鰹節などからだしを抽出した場合の固形分回収率は12~20%であり、図3の抽出液は固形分回収率もその範囲に入る。

2.5.3 ドリップ式抽出による高濃度エキス抽出の重要性

抽出液の用途が飲料やつゆ用途ではなく、業務用エキスなどである場合には、高濃度である必要があり、その場合は濃縮装置で濃縮する必要がある。その場合、濃縮前の抽出液の濃度は高ければ高いほど濃縮するのに与える熱量が少なくなることから、濃縮による品質劣化が少なくなる。この点からも、高濃度の抽出液が得られることが非常に重要である。

3 殺菌装置NTプレート式熱交換器

3.1 概要

蛋白質を始め焦付きが起り易い食品の殺菌において、連続運転時間の延長や効率的な洗浄は強いニーズである。新たな発想に基づき、プレート面左右の流れを均一にすることで、これらのニーズに応えたNTプレート式熱交換器(熱交)(冒頭図(2))を紹介する。

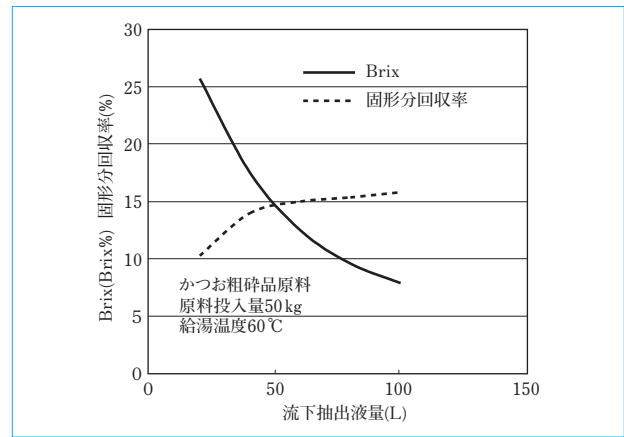


図3 ドリップ式抽出のだし抽出液のBrixデータ例
Example of brix data of drip soup extract

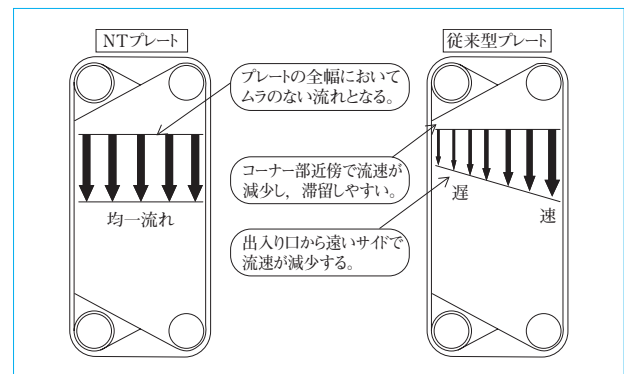


図4 プレート熱交のフローパターン
Flow pattern of plate heat exchangers

3.2 NTプレート式熱交の特徴

従来、プレートでは伝熱面を幅方向で見たときに液流速が不均一で、特に液出入口から遠い側で流速が低下するという、構造的な弱みがあった。したがって、粘性液や焦付き易い液を処理した場合、プレートコーナー部(肩部)近傍で流れが滞留し、スケールの付着あるいは焦付きが発生し、連続運転時間の制限になったり、洗浄負荷が大きいなどの問題があった。

NTプレート式熱交では、プレート伝熱面で左右異なった波形状(Opti Wave=最適な波形状)を採用し、流路の圧力損失を変えることで伝熱面全幅において液流速の均一化を実現し、これらの問題を解決した(図4)。これによりプレートコーナー部近傍でのスケール付着・焦付きが減少し、従来型に比べ連続運転時間の延長が可能となった。

さらに、洗浄性も向上し、CIP時間の短縮および洗剤・ユーティリティの使用量削減が可能となった。

一方、このNTプレートではプレート間の平均隙間を小さくしており、従来型に比べ約30%も伝熱性能が向上し、その結果、必要伝熱面積を小さくすることが可能となった。その相乗効果でプレート内の保有量は半減し、製造開始・終了時の水置換時に発生する製品ロスを大幅に減少させることができる。

3.3 性能評価

NTプレート式熱交で処理した場合の連続運転時間の延長および洗浄時間の短縮について、従来型と比較し検証した結果を次に示す。

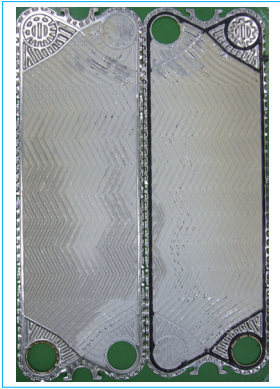


図5 従来型プレート160分運転後
Conventional plates after 160 minutes

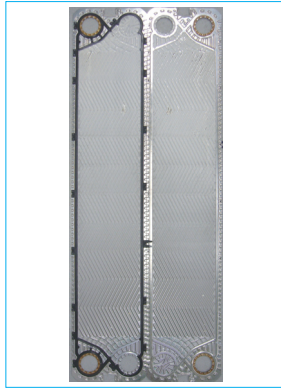


図6 NTプレート 160分運転後
NT plates after 160 minutes



図7 NTプレート 260分運転後
NT plates after 260 minutes

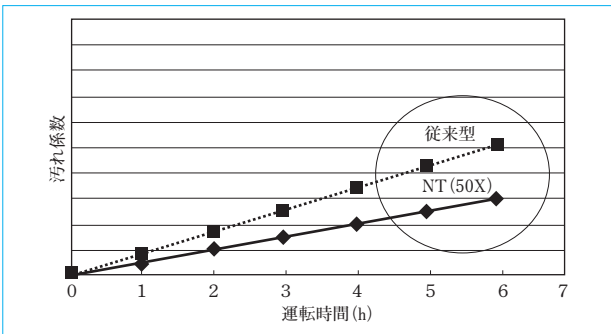


図8 NTプレート式熱交の汚れ係数比較
Comparison by fouling factors of plate heat exchanger

3.3.1 連続運転時間の延長

テストは、6.8%高濃度脱脂粉乳液を処理液とし、140℃-UHT(Ultra High Temperature Pasteurization 超高温殺菌法)条件で1パス・160分間連続運転を実施した後、プレートを分解しスケール付着状況を目視確認した。なお、NTプレート式および従来型ともに温度・流速などは15000L/hの実機を想定し、その条件をベースにテストを計画し、実施した。

その結果、140℃高温部でのプレート伝熱面は、従来型では特にプレートコーナー部近傍で焦付きが見られ、汚れの付着量も明らかに多い(図5)のに対し、NTプレート式熱交でスケールが全面に様に薄く付着している(図6)という違いが出てきた。

次に、NTプレート式熱交のみさらに100分間の運転を加え、累計260分間連続運転を実施した後、スケール付着状況(図7)を目視確認した。その結果は、従来型の連続運転160分間と比べてもスケール付着量は明らかに少なかった(図5、図7)。

したがって、本テストにて、NTプレート式熱交の特徴であるプレート伝熱面全幅においてムラのない均一な流れが、スケールの付着防止に寄与することが実証され、それにより連続運転時間は従来型と比べ1.6倍以上に延長できることが分かった。

3.3.2 洗浄時間の短縮

テストは、牛乳(生乳)を製品液とし、130℃-UHT条件で6時間循環運転を実施し、その後プレート分解しスケール付着状況を目視確認した。

その結果、NTプレート式熱交のスケール付着は3.3.1のテストと同様に、従来型と比べ明らかに少なく、また運転データから得た汚れ係数(汚れによる熱抵抗の増加分)の比較では、NTプレート式熱交は従来型と比較して約4割小さい値であ

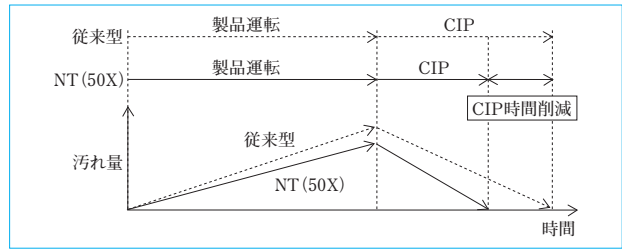


図9 NTプレート式熱交の洗浄時間の削減
Shortening of CIP time for plate heat exchanger

った(図8)。このように汚れ量が少ないことが洗浄時間短縮に繋がり、さらに、プレート内部での均一な液流れによる洗浄性向上も影響すると考えられ、従来型と比較して洗浄時間は約30%短縮できた(図9)。なお、洗浄条件はアルカリおよび酸工程の組み合わせで温度、濃度および流速をIFM標準値にて実施し、拭取り検査により汚れが完全に落ちる時間を比較して評価した。

4 おわりに

- (1) 多機能抽出装置は、食品業界において最も先進的な抽出装置である。
- (2) 多機能抽出装置は他の抽出装置にはない機能・技術を有し、それにより顧客ニーズに対応している。
- (3) 多機能抽出装置では多様な抽出方式を選定・適用でき、原料の種類や最終製品の形態および抽出用件に対応可能である。
- (4) ドリップ式抽出による高濃度エキス抽出は業務用エキスの用途において、大きな価値がある。
- (5) 性能検証テストで、NTプレート式熱交を従来型と比較した。NTプレート式熱交は、連続運転時間が約1.6倍延長可能となり、CIP時間を約30%短縮することが可能となる。
- (6) NTプレート式熱交の特徴を生かし、本体に付帯するシステムへ新しい技術を組み込み、連続運転時間延長、洗浄時間削減、ユーティリティ使用量削減および製品ロス削減などさまざまな効果を相乗的に得ることが可能となる。

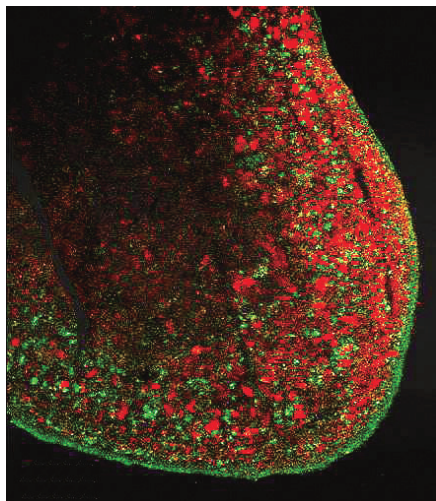
(参考文献)

- (1) 杉船大亮. 食品分野における抽出装置. 化学装置, vol.51, no.6, June, 2009, p70~75.

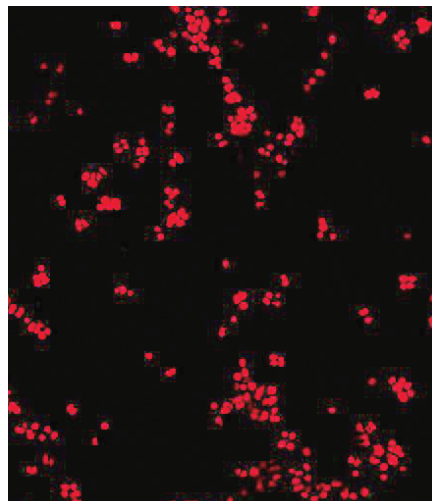
微生物群集解析の開発

Development of Microbial Community Analysis

● 稲葉 英樹*
Hideki INABA



(1) グラニュール汚泥の断面FISH画像



(2) スラリー状汚泥のFISH画像

図1 FISH画像
FISH images



近年のバイオテクノロジーの発達が目覚しく、1990年代に始まったヒトゲノム計画をきっかけとして、医療、食品および環境などさまざまな分野への応用が加速した。周知の通り、遺伝情報のすべてはDNAの4種の塩基(アデニン、グアニン、シトシンおよびチミン)の配列で決まっており、バクテリアから高等生物までその法則は共通である。生物の種を決めるのももちろんDNAであり、DNAの特定部位を解析すれば種や個を特定することができることから、病原菌の検出や犯罪捜査にも応用されている。

本報では、DNA解析技術を用い、排水処理プラント中の微生物群集構造の変化を検出する技術について解説する。

The recent progress of biotechnology has been remarkable, and since the human genome project started in the 1990s, the application of biotechnology to various fields such as healthcare, food and the environment has been accelerated. As is well known, all genetic information is determined by the sequence of four DNA bases (adenine, guanine, cytosine, and thymine), and this law is common among all living organisms from bacteria to higher organisms. Of course, living species are also determined by DNAs. Species and individual organisms can be specified by analyzing specific regions of DNAs. Therefore, biotechnology is also applied to the detection of pathogens and criminal investigations. This paper explains the technology for detecting the change in the microorganism group structure in effluent treatment plants using the DNA analysis technology.

1 まえがき

活性汚泥およびメタン発酵などの生物学的排水処理は、工場排水および下水処理に広く用いられており、環境保全技術として非常に重要な技術である。微生物の力を利用して汚濁物質の浄化を行うのが生物学的排水処理技術であるが、作用する微生物の挙動は複雑で解析困難であることから、従来は経験則を重視したエンジニアリングがなされてきた。近年、

分子生物学的手法を用いた微生物群集解析が行われるようになり、排水処理のエンジニアリングにおいてブラックボックス的に扱ってきた微生物の挙動を、簡便かつ短時間で解析できるようになってきた。

当社は各種環境プラントを手がけているが、やはりトラブルが発生した場合は経験工学的なアプローチで問題解決をするしかなく、この微生物群集解析技術を導入、整備をすることで、より科学的なデータを収集することを目指している。

パスツールの時代から行われている微生物検出技術は、シャーレ上に固めた寒天表面に直接微生物を増殖させる方法であり、現在でも微生物分類および病原菌の検出・検査などに広く用いられている。しかし、その操作はほとんど手作業であり、培養できた微生物の判定には細胞膜構造および炭水化物(糖やアルコールなど)の分解性などさまざまな項目を調べる必要があることから非常に時間がかかる。また、検出は寒天培地上で増殖する微生物に限られるので、環境中の微生物の99%を占めるといわれる難培養微生物の検出はできない。そこで、遺伝物質であるDNAを解析することで、微生物種の特異的定量を行うことができる分子生物学的手法が盛んになってきた。この手法ではターゲットとするのはDNAであり、微生物を培養する必要がなく、短時間で多くの情報を得ることができる。

本報では、導入した微生物群集解析技術の紹介と、解析結果の実例について報告する。

2 群集解析技術の概略

2.1 16S rDNA法

16S rDNA法は、細胞内のタンパク質合成器官であるリボソーム(ribosome)に存在するrRNA(ribosomal RNA)をコードする遺伝子の塩基配列を解析する方法である。(16Sはリボソームのサブユニットタンパクを指す) 16S rDNAの塩基配列は微生物種間の保存性が高く、配列を比較することで微生物相互の進化系統上の関係を知ることができる。つまり、既知の微生物のrDNAとサンプルから得られたrDNAを比較することで種の同定が可能となる。サンプル中のすべての微生物のゲノムのrRNAをコードする領域を鋳型としてPCR(Polymerase Chain Reaction)反応を行い、そのPCR産物を精製し、クローニングした後、塩基配列をDNAシーケンサで決定する。最後に、rDNA塩基配列をDDBJ(DNA Data Bank of Japan)などのデータベースに送信し照合する。(相同性検索)

2.2 FISH法

FISH(Fluorescence In Situ Hybridization)法は、16S rRNAの一部と相補的なDNA断片を蛍光標識してプローブとし微生物を検出する方法である。微生物細胞に蛍光プローブを導入すると、目的の細胞に入り込んだプローブはrRNAと2本鎖を形成(Hybridization)し、一致しない細胞に入り込んだプローブは遊離した状態のままになる。したがって、洗浄操作を行うと目的の細胞にのみ蛍光標識が残るので、共焦点レーザー顕微鏡を用いて視覚的に判別することができる。(図1)

2.3 T-RFLP法

T-RFLP(Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism)法は、蛍光標識したプライマで16S rDNAのPCR反応を行い、これを制限酵素で断片化しDNAシーケンサでフラグメント解析を行う方法である。制限酵素は決められた塩基配列部分でDNA二重鎖を切断するので、rDNAの塩基配列の違い、すなわち微生物種の違いにより切断箇所が異なる。結果、蛍光標識の付いたさまざまな長さのDNA断片が生じることになり、そのパターンを検出すれば微生物群集構造の変化を追うことができる。生物処理の馴養状態、トラブル後の正常化のモニタリングなどに応用できる。

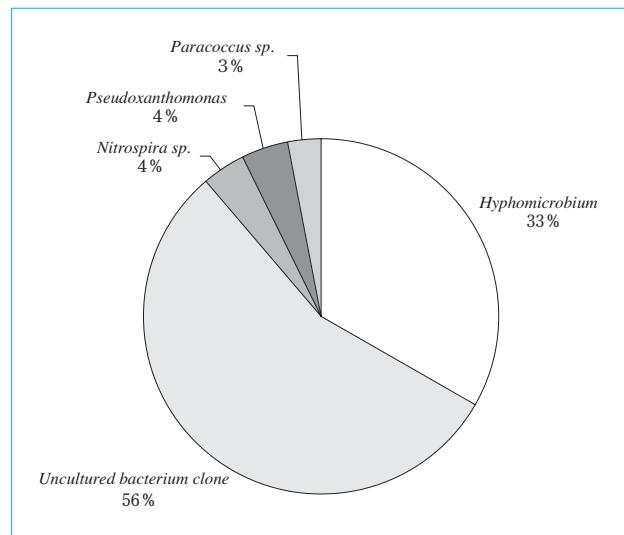


図2 16S rDNA解析結果
Result of 16S rDNA clone analysis

2.4 RT-PCR

RT-PCR(Real Time-PCR)は、特定の配列のDNA断片をPCR反応により増幅しその増幅カーブから元の鋳型DNAのコピー数を推測するものであり、遺伝子発現の解析、病原菌の検出などに用いられている。

この手法を用いて計測したい微生物の16S rDNA部分を増幅すれば、ある特定の微生物の絶対的あるいは相対的な存在量を計測することが可能となる。また、特定のDNAを測定できるので16S rDNAだけではなく、酵素などをコードするDNAも測定でき、サンプル汚泥中の酵素遺伝子の量、すなわち分解活性を評価することも可能である。さらに、mRNAを定量すれば特定の遺伝子の発現量を測定することになり、微生物の生死、活性状態を含む汚泥の活性を知ることができる。

3 群集解析技術の応用例

このような群集解析技術を活性汚泥やメタン発酵汚泥に適用した実例を、次に紹介する。

3.1 16S rDNA法

当社横須賀製造所内の浄化槽汚泥をスタートとし、ある産業排水を用いて馴養した汚泥を16S rDNA法にて解析した。PCRに用いたプライマーセットは真正細菌に特異的なユニバーサルプライマーである27f-907r⁽¹⁾⁽²⁾を用いた。得られたクローン96個の塩基配列をNCBI(National Center for Biotechnology Information)のDNAデータベースにて相同性検索を行った。その結果、96個中32個のクローンが*Hyphomicrobium sp.*と99%以上の相同性を示し、同種の微生物がかなりの数で存在することが分かった。*Hyphomicrobium sp.*はグラム陰性、胞子を形成しないバクテリアで、出芽によって増殖する。また多くはメタノールのようなC1化合物を資化する⁽³⁾。これは、排水の成分と処理状況とも一致し、汚泥の群集構造が順化によって排水成分に適した状態に変化したことを示している。しかし、一方で図2に示すように、相同性検索の結果、半数以上が*Uncultured bacterium*(単離困難な微生物)との関連性を示した。これは、環境中の微生物の99%以上が単離困難な微生物であるからに他ならない。16S rDNAの結果のほとんどがこういった*Uncultured bacterium*と判定された場合、群集構

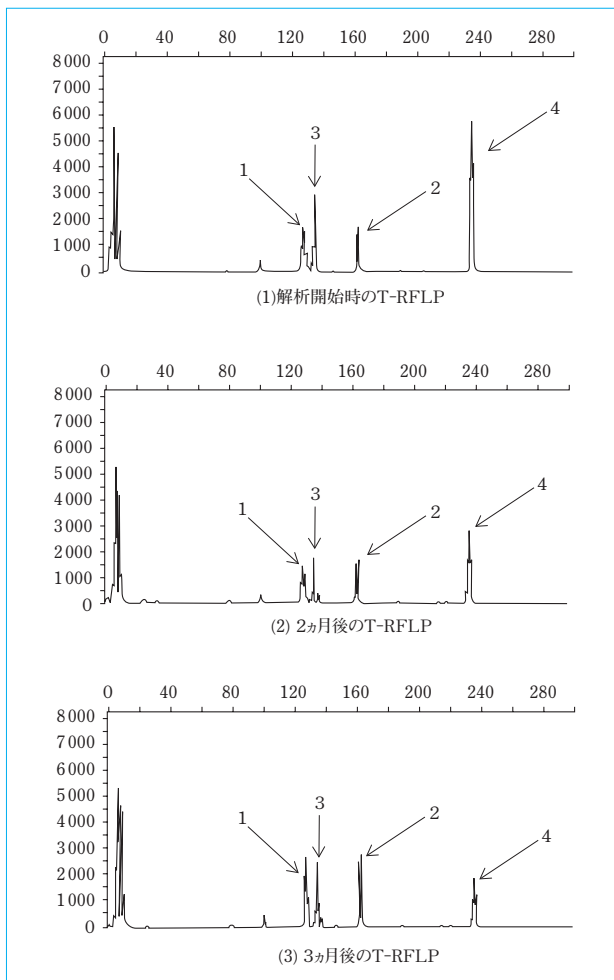


図3 T-RFLPフラグメント
T-RFLP fragment

造の解釈は非常に難しい。しかし、群集構造の変化は検出できるので、実プラントの管理あるいは実験を繰り返すことで蓄積されるデータとの比較が非常に重要になる。

3.2 FISH法

当社の高速メタン発酵EGSB(Expanded Granular Sludge Bed)のグラニュール汚泥の断面FISH画像を、図1(1)に示す。古細菌特異的なプローブ(ARC915)⁽⁴⁾および真正細菌特異的なプローブ(EUB338)⁽⁵⁾でハイブリダイゼーションした結果を示しており、古細菌のプローブは赤、真正細菌のプローブは緑の蛍光物質で標識してあるので、それぞれの微生物が存在する部分が染め分けられている。このグラニュールでは古細菌つまりメタン細菌が全体的に広がり、真正細菌おそらくは酸生成や硫酸還元に関与する細菌群が表面付近にコロニーを形成している様子が観察できる。

図1(2)はスラリー状の嫌気汚泥を観察したものであるが、使用したプローブは*Methanosarcinaceae*特異的なプローブ(MS1414)⁽⁶⁾である。この場合、あらかじめ16SrDNA解析で*Methanosarcina sp.*近縁のメタン細菌が検出されたのでこのプローブを用いた。結果、*Methanosarcina sp.*近縁のメタン細菌が存在することが視覚的にも確認できた。

3.3 T-RFLP法

この例も当社のEGSBのグラニュールを解析したものであるが、日を追って群集構造が変化していることが証明された。プロトコルに従い、グラニュール汚泥から抽出した

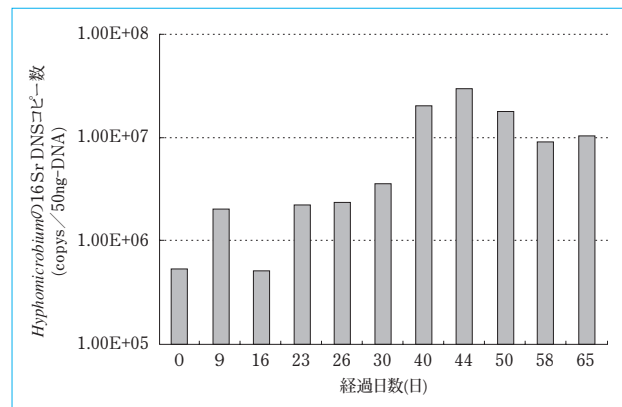


図4 RT-PCRによる特定菌数の計測結果
Copy numbers of 16SrDNA by RT-PCR

DNAを鋳型に蛍光標識した古細菌特異的プライマーAr109f-Ar912r⁽⁷⁾でPCR反応を行った。得られた増幅産物を制限酵素Sau3A IとHae IIIで消化し、その断片をフラグメント解析した。

結果を、図3(1)、図3(2)および図3(3)に示す。図3(1)および図3(2)は2ヶ月、図3(2)および図3(3)は1ヶ月の期間を空けてサンプリングしたものである。1~4の四つの特徴的なフラグメントがあるが、あらかじめ得られている16SrDNA塩基配列と制限酵素切断部位から、1および2は*Methanobacterium*近縁、3は*Methanosaeata*近縁、4は*Methanosarcina*近縁の古細菌のフラグメントと推測された。これらのフラグメントの相対輝度を解析した結果、*Methanosarcina*近縁古細菌が65%から20%に劇的に低下し、相対して*Methanobacterium*近縁、*Methanosaeata*近縁古細菌が増加した。すなわち、3ヶ月の期間での群集構造の変化が検出されたことになる。図3(1)、図3(2)および図3(3)のサンプルは同時に16SrDNA解析を実施しており、得られたクローン数の相対比較においてT-RFLPの結果を反映する変化が起きたことを確認した。

このように、T-RFLPは一度プロファイリングできたフラグメントの消長を追跡することで群集の変化を検出でき、簡便で再現性の高い優れた方法である。しかし、群集の多様性が高い、すなわちさまざまな微生物が共存する対象では、フラグメント数が多くなりフラグメントと微生物の対比が困難になること、小幅な変化が読み難くなるなどの欠点もある。

3.4 RT-PCR

3.1と同様、浄化槽汚泥から馴養した経過をRT-PCRで追跡した。3.1でキーバクテリアとなるのが*Hyphomicrobium sp.*であるということが分かっていたので、プライマセットおよびプローブ(TaqMan probe)は*Hyphomicrobium sp.*の16SrDNAをすべて検出できるように設計した。結果を図4に示すが、馴養経過に従って*Hyphomicrobium sp.*の16SrDNAのコピー数が増加していることがはっきりと分かった。

次に、RT-PCR法を用いて汚泥中の特定菌の増殖速度を求めることを試みた。微生物の混合系である活性汚泥やメタン発酵汚泥においては、従来の手法では特定菌の増殖速度を求めることはできない。馴養の度合いやトラブルの前兆などを検出し、前もって対策を講じることができれば生物処理の維持管理上、非常に有効な技術となる。

実験は上記と同様、*Hyphomicrobium sp.*が優先化した汚泥

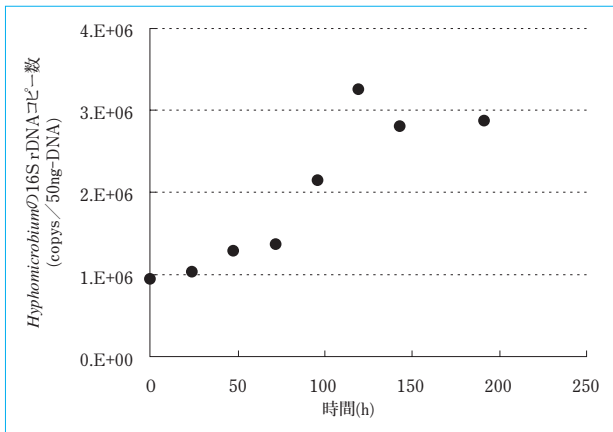


図5 RT-PCRによる特定菌の増殖経過
Time course of growth by RT-PCR

を用いた。増殖の過程が明確になるように、一度汚泥を希釈しそこからの増殖の経過をRT-PCRで追跡した。その結果を図5に示すが、計測開始から約150時間まで増殖が認められた。このデータを対数プロットし、その傾きから得た比増殖速度 μ は $0.01(\text{h}^{-1})$ であった。この数値は*Hyphomicrobium sp.*純粋菌の比増殖速度ではなく、微生物群集のなかで基質の競合や微生物間の相互作用の影響下にある状態での比増殖速度を示しており、実際のプロセス内での挙動を正確に表している。

4 今後の展開

従来、排水処理において微生物の挙動は設計および運転管理などに重要なファクタであるにもかかわらず、容易には検出できなかったことから、経験則を頼りにする部分が大きかった。今回導入した四つの群集解析技術を、目的に応じて適切に組み合わせて解析することで科学的なデータに基づいた設計および運転管理が期待できる。ただし、微生物群集解析は緒についたばかりであり、微生物群集構造の変化と処理状態との関連性についてはまだまだデータが少ないのが現状である。今後、さまざまなプラントにおけるデータを蓄積しデータベース化することで最適設計、処理状況診断および運転管理に役立てる予定である。

5 むすび

- (1) 16S rDNA法により、多種多様な微生物群集である活性汚泥のキーバクテリアを特定することができることを実証した。
- (2) FISH法により、EGSBグラニュール内部の細菌の分布が観察できた。また、特定の細菌を特異的に染色し検出することができた。
- (3) T-RFLP法により、群集構造の変化を追跡することができた。この方法は16S rDNA法に比べ操作が短時間で完了することから、一度キーバクテリアが判明した対象において群集構造の変化を検出でき、プラント診断に役立てることができる。
- (4) RT-PCR法では、キーバクテリアの数を正確に把握できた。また、群集を形成するなかでの特定菌の増殖速度を計測することができた。これにより、処理状況の変化傾向を把握し、処理悪化などのトラブルの予兆を早期に検出することが期待できる。

(参考文献)

- (1) Julian R. Marchesi, Takuichi S, Andrew J. Weightman, Tracy A. Martin. Design and Evaluation of Useful Bacterium-Specific PCR Primers That Amplify Genes Coding for Bacterial 16S rRNA. *Applied and Environmental Microbiology*, vol.64, no.2, 1998, p.795-799.
- (2) Eitan Ben-Dov, Orr H. Shapiro, Nachshon Siboni, and Ariel Kushmaro. Advantage of Using Inosine at the 3' Termini of 16S rRNA Gene Universal Primers for the Study of Microbial Diversity. *Applied and Environmental Microbiology*, vol.72, no.11, 2006, p.6902-6906.
- (3) Hirsch, P. Genus *Hyphomicrobium* In J. T. Staley, M. P. Bryant, N. Pfennig and J. G. Holt. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. vol.2, The Williams & Wilkins Co., Baltimore, 1984, p.1895-1904.
- (4) Amann et al. *Applied and Environmental Microbiology*, vol.56, no.6, June 1990, p.1919-1925.
- (5) Daims et al. *Systematic and Applied Microbiology* 22. 1999, p.434-444.
- (6) Sekiguchi et al., *Applied and Environmental Microbiology*. Mar, p.1280-1288.
- (7) Großkopf, R., Janssen, P.H. & Liesack, W. Diversity and structure of the methanogenic community in anoxic rice paddy soil microcosms as examined by cultivation and direct 16S rRNA gene sequence retrieval. *Appl Environ Microbiol* 64, 1998, p.960-969.

磁場・機構・制御連成解析手法の開発

Development of Coupling Analysis Method of Magnetic Field, Mechanism & Control

●宮崎 修司* 山下 幸貴* 市嶋 大路*
Shuji MIYAZAKI Koki YAMASHITA Daiji ICHISHIMA

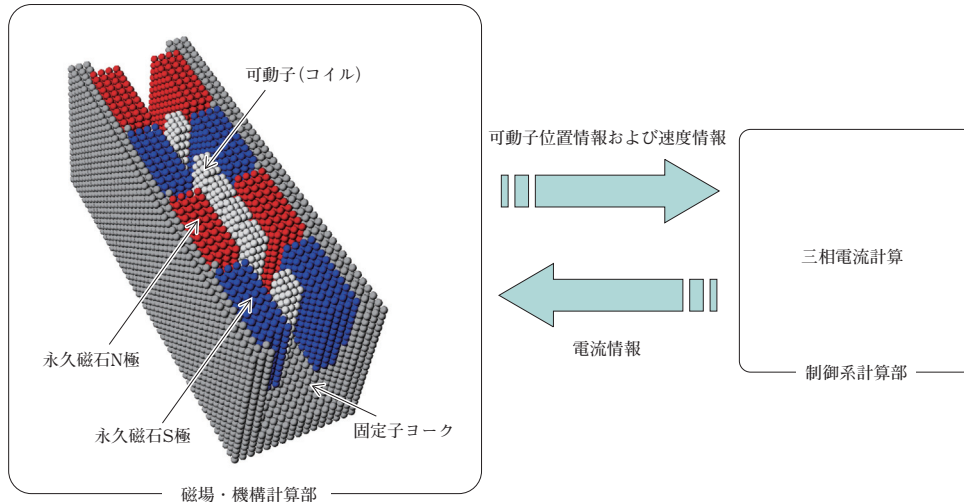


図1 磁場・機構・制御連成解析システム
Coupling analysis system of magnetic field, mechanism and control

磁場の運動方程式を基礎とした、磁場・機構・制御連成解析手法を開発した。磁性体を構成する粒子の磁場状態を運動方程式で記述することで、エネルギーの保存則が満足される。また、有限要素法を基礎とした従来の連成解析技術で必要とされるメッシュ相互の整合性は必要ない。結果として、従来技術と比較してより精度の高い連成解析が可能となる。

本報では、まず磁場の運動方程式による静磁場解析を行い、FEM静磁場解析との比較を実施した。磁場の運動方程式による解析結果は、FEM解析結果と良く一致した。さらに、コアレスリニアモータの磁場・機構・制御連成解析結果から、制御指令下における磁場・機構連成解析が可能であることを示した。

We propose a coupling analysis method of magnetic field, mechanism and control based on an equation of motion for magnetic field. Since the magnetic field state is described by the equation of motion, the law of energy conservation is satisfied. In addition, a consistency of elements which is required in conventional coupling analysis method represented by the Finite Element Method (FEM) is not necessary. As a result, the coupling analysis of electromagnetic actuators with a complicated motion pattern is enabled with a higher accuracy compared with conventional one. In this paper, a static magnetic field analysis by using the equation of motion for magnetic field is performed. The result shows a good agreement with the FEM calculation result. Furthermore, it is shown that the coupling analysis of the magnetic field and mechanism under the control is possible from coupling analysis results of a coreless linear motor.

1 まえがき

近年、電磁アクチュエータの高精度、高効率化が高まるにつれ、設計段階において数値解析における詳細な分析が必要とされている。電磁アクチュエータの設計で検討すべき項目としては、磁場問題、機構・構造問題、制御問題および熱問題などがあげられる。いずれも昨今のコンピュータ性能の飛躍的な向上および数値解析技術の発達により、実機に近いモデリングが可能となりつつある。

従来、電磁アクチュエータの設計においては、扱う現象に応じた場の方程式を元に個別に解析が実施されてきた。したがって、複数の物理現象の相互作用に起因した現象へのアプローチは困難であり、また、解析モデルおよび条件においても制約が課されることから、実機特性と一致しないケースが

多々存在していた。

このような状況のなか、磁場解析を中心として、複数の現象を統合的に評価する連成解析技術が注目を浴びている。電磁アクチュエータの磁場解析手法としては、一般的に有限要素法(FEM)⁽¹⁾、境界要素法(BEM)⁽²⁾、有限要素・境界要素(FE-BE)併用法⁽³⁾および磁気モーメント法(MMM)⁽³⁾などがあげられる。そのなかでも、プリポストの充実および汎用性の高さから、FEMをベースとした解析ツールが一般的に採用されている。FEMとは対象を含む空間全域を要素分割し、要素ごとの計算を行い、系全体の近似値を得る手法であり、偏微分方程式法の一つである。FEMによる磁場解析をベースとして制御、機構、熱および構造解析との連成機能を備えたソフトは多数存在する。ただし、FEM解析の特性上、空間全域をメッシュ分割する必要がある、磁場・機構・制御連

成解析に注目すると、空間要素の整合性を保つ必要があり、可動部が単純な運動に制約され複雑に運動する事例に対して不向きである。BEM, FE-BEおよびMMMでは空間要素不要というメリットを有するが、実機ベースでの連成解析に関する報告は見当たらない。

本報では、機構・制御との連成解析に適した新たな磁場解析手法を考案し、提案手法を基礎として、図1に示す磁場・機構・制御連成解析を実施する。提案する手法は、解析対象を粒子の集合体とし、粒子のラグランジアンにMMMを基礎として磁場の項を追加する。粒子のラグランジアンから、磁場に対する支配方程式(仮想粒子の運動方程式)および機構に対する支配方程式(粒子の運動方程式)が導出される。

「仮想粒子の運動方程式」と名づけられた磁場解析手法は、解析対象のみを仮想粒子で分割し、空間の要素分割は不要であることから、FEMに見られる要素間の整合性に起因した制約はない。したがって、可動部が複雑に運動する系に対しても解析が可能であり、機構との連成に優位性を持つ。また、高アスペクト比問題および遠方漏れ磁場問題に対しても効果的である。さらに、支配方程式が常微分方程式となることで、磁場の時間発展はシンプレクティック積分子により為され、数値計算上の不安定性も存在しない。機構解析に関しては、可動部を剛体とし、可動部を構成する粒子に働く力から可動部の時間発展を計算する。機構に関しても、常微分方程式で記載されることから、磁場の場合と同様の利点を有する。

新たに提案した仮想粒子の運動方程式による磁場解析手法の妥当性について検証し、コアレスリニアモータを解析事例として、磁場・機構・制御連成解析を行う。

2 磁場・機構連成解析手法

2.1 磁気モーメントを有する粒子のラグランジアン

解析対象となる電磁アクチュエータは粒子(多面体要素)の集合体として取り扱う。磁気モーメント μ_i を有する N 粒子のラグランジアンは、

$$L = \sum_i^N \sum_{p \in i} \left[\frac{1}{2} \alpha_{ip} \mu_0 \chi_{ip} (\dot{\mathbf{H}}_{ip} \cdot \dot{\mathbf{H}}_{ip}) \Delta V_{ip} - \frac{1}{2} \mu_0 \chi_{ip} (\mathbf{H}_{ip} \cdot \mathbf{H}_{ip}) \Delta V_{ip} + \mu_0 \mathbf{M}_{ip} \cdot \mathbf{H}(\mathbf{r}_{ip}) \Delta V_{ip} \right] + \sum_i^N \frac{1}{2} m_i (\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{v}_i) - \sum_{(i,j)} \phi(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) - \sum_i^N \lambda_i C_i \quad (1)$$

ここで、

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}_{ip}) = \frac{1}{4\pi} \sum_j^N \sum_{q \in j} \frac{(\mathbf{M}_{jq} \cdot \mathbf{n}_{jq})(\mathbf{r}_{ip} - \mathbf{r}_{jq})}{|\mathbf{r}_{ip} - \mathbf{r}_{jq}|^3} \Delta S_{jq} + \mathbf{H}_{ext,ip}, C_i = \left[\sum_p^{\alpha_i} (\mathbf{M}_{ip} \cdot \mathbf{n}_{ip}) \Delta S_{ip} \right] \dots (2)$$

ただし、 α は仮想質量、 μ_0 は真空の透磁率、 χ は磁気感受率、離散化された $(\mathbf{H}, \dot{\mathbf{H}})$ は仮想粒子の正準変数、 \mathbf{M} は磁化ベクトル、 \mathbf{r} は位置ベクトル、 \mathbf{n} は法線ベクトル、 λ はラグランジュの未定定数、 n は粒子の境界面数、 ΔV は体積、 ΔS は境界面積、 m は粒子の質量、 \mathbf{v} は粒子の速度ベクトル、 ϕ は粒子間相互作用ポテンシャルエネルギー、 \mathbf{H}_{ext} は外部からの印加磁場ベクトルであり、添え字 i, j は粒子番号、添え字 ip, jq は仮想粒子の番号に対応している。

2.2 仮想粒子の運動方程式

正準変数を $\mathbf{H}_{ip}, \dot{\mathbf{H}}_{ip}$ とし、式(1)で示されたラグランジアンをラグランジュの運動方程式に代入すると、仮想粒子の運動

方程式が導出される。

$$\alpha_{ip} \ddot{\mathbf{H}}_{ip} = -[\mathbf{H}_{ip} - \mathbf{H}(\mathbf{r}_{ip})] - \lambda_i \frac{\partial C_i}{\partial \mathbf{H}_{ip}} - \alpha_{ip} \gamma \dot{\mathbf{H}}_{ip} \dots (3)$$

式(3)において右辺第3項は束縛力であり、ラグランジュの未定定数を通じて系に束縛： $\int (\mathbf{M} \cdot \mathbf{n}) dS = 0$ を課している。式(3)右辺第4項は外部からの印加磁場が変動した場合、すばやく追従する減衰項であり、 γ は減衰定数である。

式(3)に示す仮想粒子の運動方程式を離散化するに当たり、束縛力を含んだ運動方程式の一般的な解法の一つであるSHAKE法⁽⁴⁾を用いる。まず、束縛力を考慮せずに式(3)を離散化する。離散化には、常微分方程式の一般的な解法の一つである蛙飛び法⁽⁴⁾を用いる。

$$\ddot{\mathbf{H}}_{ip}^{n+1} = \ddot{\mathbf{H}}_{ip}^n + \dot{\mathbf{H}}_{ip}^{n+1/2} \delta t, \dot{\mathbf{H}}_{ip}^{n+1/2} = \frac{(1 - \gamma \delta t / 2) \dot{\mathbf{H}}_{ip}^{n-1/2} + \mathbf{F}_{ip}^n \delta t / \alpha_{ip}}{1 + \gamma \delta t / 2} \dots (4)$$

ここで、

$$\mathbf{F}_{ip}^n = [\mathbf{H}_{ip}^n - \mathbf{H}(\mathbf{r}_{ip}^n; \mathbf{M}_{ip}^n)] \dots (5)$$

ただし、 δt は時間刻み幅である。続いて、束縛力を加える。束縛が満たされるまで以下を繰り返す。

$$\ddot{\mathbf{H}}_{ip}^{n+1} = \ddot{\mathbf{H}}_{ip}^{n+1} - \lambda_i^{n+1} \frac{\partial C_i(\mathbf{M}_{ip}^n)}{\partial \mathbf{M}_{ip}} \frac{\delta t^2}{\alpha_{ip}(1 + \gamma \delta t / 2)} \dots (6)$$

$$\lambda_i^{n+1} = \frac{C_i(\mathbf{M}_{ip}^{n+1})}{\sum_q \frac{\delta t^2}{\alpha_{iq}(1 + \gamma \delta t / 2)} \frac{\partial C_i(\mathbf{M}_{ip}^{n+1})}{\partial \mathbf{M}_{ip}} \frac{\partial C_i(\mathbf{M}_{iq}^n)}{\partial \mathbf{M}_{iq}}} \dots (7)$$

系が定常状態(任意の誤差判定値以下)に到達するまで式(4)~式(7)を繰り返し計算することにより、最終的な磁場状態が計算される。また、式(4)で示す蛙飛び法はシンプレクティック性を有しており、系の全エネルギーはドリフトしないという利点を有する。

2.3 可動部の運動方程式

式(1)より粒子の運動方程式は(正準変数 $\mathbf{r}_i, \dot{\mathbf{r}}_i$),

$$m_i \ddot{\mathbf{r}}_i = -\sum_j \frac{\phi(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)}{\partial \mathbf{r}_i} + \sum_{p \in i} \frac{\partial (\mathbf{M}_{ip} \cdot \mathbf{H}_{ip})}{\partial \mathbf{r}_i} \Delta V_{ip} \dots (8)$$

で与えられる。なお、非磁性体であるコイルを構成する粒子の運動方程式は、式(8)の右辺第2項をローレンツ力に置き換えればよいことは容易に分る。電磁アクチュエータの可動部は剛体であると仮定する。粒子間の相互作用は無視でき、可動部を構成する粒子に働く力(式(8)右辺第2項)を元に、剛体の重心の運動方程式、重心周りの回転の運動方程式を計算する。磁場の場合と同様に、蛙飛び法で運動方程式を離散化し、可動部の時間発展を計算する。

2.4 仮想粒子の運動方程式による静磁場解析

仮想粒子の運動方程式による磁場解析の妥当性の検討に、簡易モデルを用いてFEM静磁場解析結果と本手法による静磁場解析結果の比較、検証を実施した。図2に、2次元解析モデルを示す。ここで、強磁性体は線形材料とし、磁気感受率 $\chi = 999$ とした。また、強磁性体の表面から2(mm)離れて永久磁石が配置されており、永久磁石の磁化ベクトルはy方

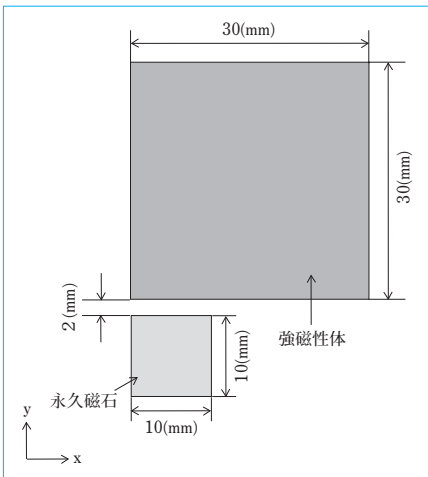


図2 2次元解析モデル
2-dimensional analysis model

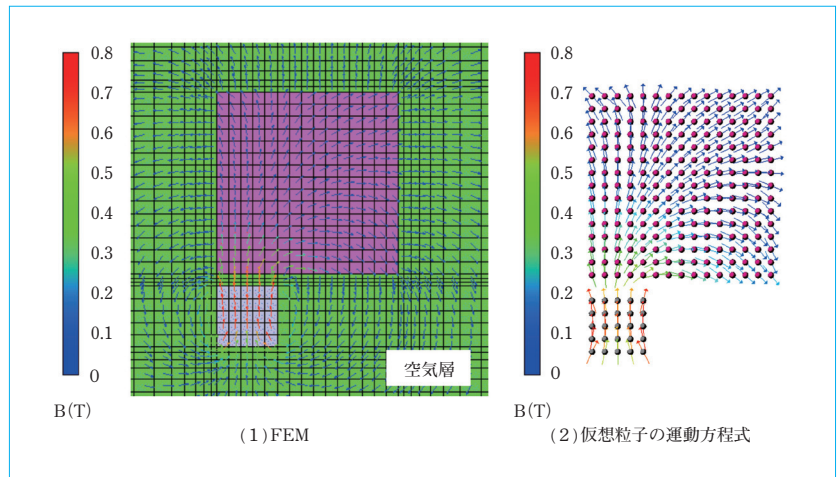


図3 2次元静磁場解析結果
2-dimensional static magnetic field analysis result

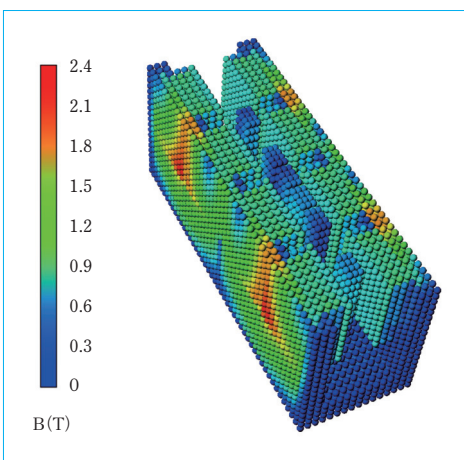


図4 3次元コアレスリニアモータ静磁場解析結果
3-dimensional static magnetic field analysis result for coreless linear motor

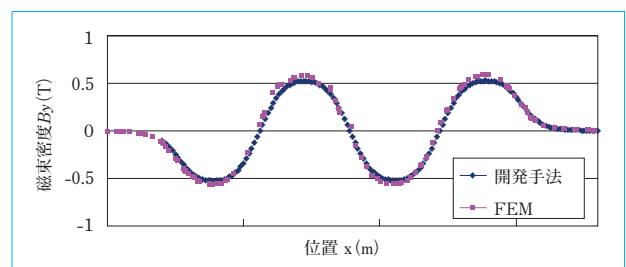


図5 ギャップ部の磁束密度分布
Profile of magnetic induction at air gap

向に963(kA/m)とした。なお、外部からの印加磁場はゼロである。

図3に、両解析手法により計算された磁束密度ベクトルを示す。FEM解析では材料外部に空気層を配置した上で解析領域全体を要素分割し、境界面において各種境界条件を与える必要が生じる。図3(1)に示すFEM解析結果では、空気層の一部も併せて示している。本手法は空気層が不要であることから、粒子の位置ベクトル上での磁束密度ベクトルを示す。図3(1)および図3(2)ともに磁束の流れ、絶対値は良く一致しており、本手法による磁場解析が妥当であることが確認された。FEM解析結果との定量的な比較は次章にて行う。

続いて、計算コストに関して簡単に言及する。要素数としては、FEM解析は2385要素、本手法は空間要素不要であるため250粒子である。ただし、本手法の計算量はおよそ粒子数の二乗に比例する。(FEM解析はおよそ要素数に比例) 今後、大規模、複雑形状を扱う場合、計算量の低減は重要な課題である。

3 コアレスリニアモータ磁場・機構・制御連成解析

3.1 磁場・機構・制御連成解析システム

本報で提案する磁場・機構・制御連成解析システム(図1)の詳細を述べる。ここで、解析事例としてはコアレスリニアモータを採用した。

ユーザは、コアレスリニアモータの寸法、材料定数および制御パラメータを入力し、解析を実行する。制御計算部は、可動子の位置情報、速度情報を元に、あらかじめ入力された制御パラメータからコイルに通電する三相電流値を計算し、磁場・機構計算部へ入力情報として引き渡す。その後、仮想粒子の運動方程式による磁場解析、粒子の運動方程式に基づいた機構解析を実施する。機構解析により計算された可動子位置情報、速度情報を制御計算部へ返す。上記手順を所定の終了条件を満たすまで繰り返し計算することで、コアレスリニアモータ磁場・機構・制御連成解析が実現する。

3.2 磁場・機構・制御連成解析結果

図1に示す連成解析を実施し、その有用性に関して検討する。コアレスリニアモータの磁場解析を行うに当たり、永久磁石を含む磁性体に対しては、2章で示した仮想粒子の運動方程式にて、系が定常状態に到達するまで計算を行った。また、コイルが作る外部磁場はビオ・サバルの法則を解析的に積分して導出される解析解を用いた⁽⁵⁾。機構解析に関しては、可動子は剛体であると仮定し、可動子を構成する粒子に働く力から重心の運動方程式、重心周りの回転の運動方程式を計算した。

図4に、仮想粒子の運動方程式によるコアレスリニアモータの固定子の静磁場解析結果を示す。固定子は永久磁石により磁化され、同一面上に配置された永久磁石SN間にて磁束密度は最も高い。図5にはギャップ部の磁束密度プロファイルを示し、FEM解析結果との定量的な比較検討を行う。FEM解析との誤差は最大でおよそ5%程度であり、実機ベースでの解析においても本手法にてFEM解析と同等の精度

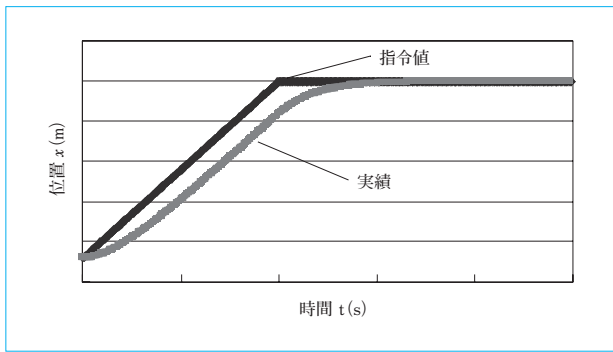


図6 連成解析システムの時間応答
Time response of coupling analysis system

が得られていることが確認された。

次に、図1に示す連成解析システムにて、コアレスリニアモータの位置制御を実施した。制御はPID制御とした。図6にコアレスリニアモータの時間応答を示す。位置指令値に実績が追従しており、最終的に所望とする位置へ可動子が到達している様子が見て取れる。

図7には、遠方(リニアモータから500mm離れた箇所)における漏れ磁束密度の時間経過を示す。本手法は積分方程式法であり空間要素分割不要であることから、算出したい任意の座標を指定すれば、その座標上での物理量のみを算出可能である。本実施例では、ナノテスラオーダの磁束密度の変動が確認された。FEM解析では、観測点が機器から離れるほど空間に配置する要素数が増加し3次元実機モデルによる遠方問題は計算コストの観点から困難とされている。また、空間要素分割の粗密に応じて誤差も変動することから、計算コストおよび解析精度の両観点から遠方問題の解析には不向きである。もちろん、本解析手法においても、解析対象を構成する粒子数、磁場解析の収束判定に伴う誤差が解には含まれている。ただし、空間要素分割が不要であることから、観測点までの距離に応じた計算コストの増加および計算誤差の増加は現れない。本手法はこのような遠方漏れ磁場問題へのアプローチにも優れている。

4 むすび

本報では、新たな磁場解析手法を考案し、その手法を備えた磁場・機構・制御連成解析手法について報告した。

- (1) 磁気モーメントを有する粒子のラグランジアンから導出された仮想粒子の運動方程式による磁場解析手法を提案し、解析事例を元にFEM解析との比較を行い、同等の解析精度であることが確認された。
- (2) 仮想粒子の運動方程式を用いた磁場・機構・制御連成解析手法を提案した。コアレスリニアモータ位置制御を解析事例とし、位置指令値に追従して可動子が移動する様子が計算機上にて再現された。

(参考文献)

- (1) 高橋則雄, 中田高義. 電気工学の有限要素法. 森北出版, 1982.
- (2) 榎園正人. 境界要素解析. 培風館, 1986.
- (3) 高橋康人, 松本千春, 若尾真治, 亀有昭久. Box Shield Model(電気学会ベンチマークモデル)の磁界解析における大規模高精度化. 日本電気学会研究会資料静止機回転器合同研究会, SA-05-70, RM-05-77, 2005-

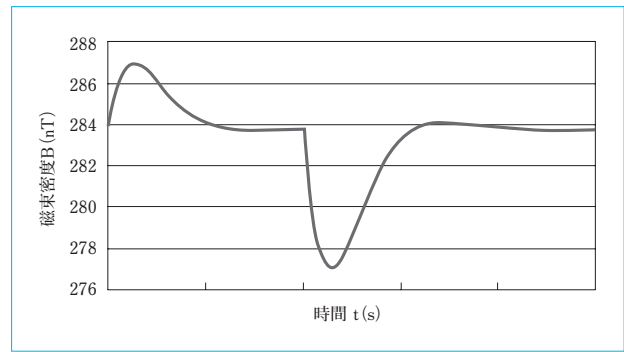


図7 遠方における漏れ磁場の時間変化
Time development of leak magnetic induction at far field

2009, p.33~38.

- (4) J.M.ティッセン. 計算物理学. 日経印刷株式会社, 2003, p.176~198.
- (5) Z.X.Feng. THE TREATMENT OF SINGULARITIES IN CALCULATION OF MAGNETIC FIELD BY USING INTEGRAL METHOD. IEEE, 1985, p.2207-2210.

構造物における最適化手法の活用

Use of Optimizaion Technique for Structure

●青木 芳昇* 三玉 一郎* 岡田 真三*
Yoshinori AOKI Ichiro MITAMA Shinzo OKADA



最適化フロー
Optimization flow

近年、工数削減や設計品質向上を目的とした最適化手法が急速に発展してきている。しかしながら、最適化手法の適用の際は、その有効性の確認が必要である。

そこで、最適化ソフトと構造解析ソフトを組み合わせた構造最適設計システムの一つを構築し、その最適化システムの有効性と妥当性を検証した。

最適化システムの有効性検証として、理論上の最適解が分かるモデルで最適化計算を実施した結果、最適化手法を適切に選択すれば最適解が短時間で得られることを確認した。

最適化システムの妥当性検証として、油圧ショベルのブームにて最適化計算を実施した結果、有用な軽量化案が得られた。また、油圧ショベルのブームのように対象物が相似形でシリーズ化されている場合は、解析モデルの作成をルール化することで、より効果的に最適設計システムを活用することが可能である。

Optimization technology for reducing cost and improving quality of product design is developing rapidly. However, it is important to prove the validity, effectiveness and efficiency of the optimization algorithm that solves the problems. In this report, an optimization system for solving structural problems was built by combining the optimization software and the structural analysis software. A structural model which has a theoretically unique optimum solution was used to evaluate the optimization system. This system will be successful for solving the model problem when the proper optimization algorithm and conditions were selected. Next, the optimization system was applied to more realistic structural problem to lighten the boom of the hydraulic excavator. Reasonable solutions including more than the expectation were obtained. The verified optimization system will give us useful information and ideas on designing products under careful technical considerations.

1 まえがき

構造物の設計において重量は製品の性能やコストに直結することから、構造物の軽量化はものづくりにおける永遠のテーマである。コンピュータの大容量化および高速化により、構造物においては有限要素法(FEM)解析の利用が拡大し、設計者は試行錯誤による繰返し解析によって軽量化を図ってきた。

一方で、開発リードタイム短縮による競争力強化も重要なテーマであり、設計品質を維持しつつ設計時間を短縮することが求められている。

近年、この相反するテーマの解決に、工数削減や設計品質向上を目的として最適化理論の急速な展開⁽¹⁾と、それを用いたソフトの利用が増加してきている。しかしながら、「最適化手法」の有効性と効果に対して懐疑的な設計者も少なから

ず存在するのが現状である。その原因には、現在利用されている最適化理論が、多岐にわたり最適化の対象と適用理論の組み合わせを検討する必要があることや、最適化システムを構築する場合に多種多様な形態が考えられ、どのようなシステムにするか検討する必要があることが考えられる。

そこで、本報では、一つの典型的な構成である、最適化ソフトと構造解析ソフトを組み合わせた構造最適設計システムを構築し、次の2点についての取組み内容を報告する。

- (1) 理論上の最適解が分かるモデル(簡易モデル)による最適化計算
- (2) 実機モデルによる最適化計算

(1)では、「最適化計算で得られた解は、本当に最適解なのか?」について検証し、(2)では、油圧ショベルのアタッチメントを対象として最適化計算を実施し、得られた結果について検証する。

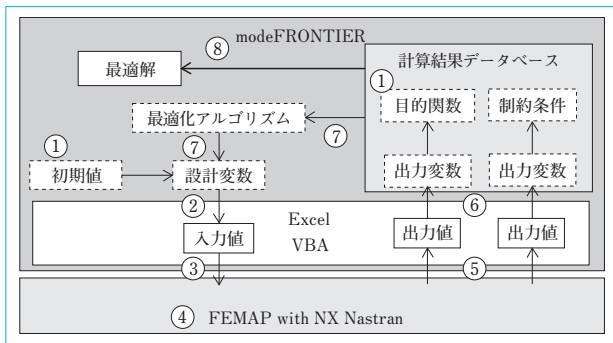


図1 システム概要
Outline of system

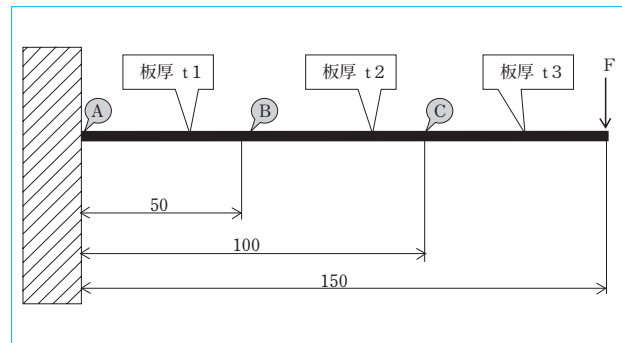


図2 簡易モデル
Simple model

2 最適化システムの構成

最適化ソフトmodeFRONTIER(開発元 ESTECO社)と、構造解析ソフトFEMAP with NX Nastran⁽²⁾(開発元 シーメンスPLMソフトウェア)を組み合わせた構造最適設計システムを構築した。

概略図を、図1に示す。

図に示すように、Excel(開発元 マイクロソフト株式会社)のVBAを用いたシステムを採用した。システムの流れを次に示す。

- (1) modeFRONTIER上で、設計変数(初期値・領域・離散幅)、制約条件および目的関数を設定する。
- (2) 設計変数をExcelのセルに入力値として書き込む。
- (3) Excelのセルの値を用いてFEMAPの解析モデルを変更する。
- (4) FEMAP with NX Nastranにて解析を実行する。
- (5) 解析結果をExcelのセルに出力値として取り込む。
- (6) Excelの出力値を出力変数としてmodeFRONTIERに読み込む。
- (7) 計算結果データベースの情報および最適化アルゴリズムから次の設計変数を生成する。
- (8) 計算終了後、計算結果データベースから最適解を抽出する。

上記(2)~(7)を繰り返し、計算実行する。

(2), (6)および(7)がmodeFRONTIERの実行部分, (3), (4)および(5)がExcel VBAの実行部分, (1)および(8)が設計者が実施する部分である。

3 簡易モデルでの検証

3.1 簡易モデルの内容

簡易モデルの概要を、図2に示す。

形状は、理論上の最適解が分かりやすいように単純な片持ちの板とした。板の幅は50mm、長さは150mmで、50mmごとに分割し、それぞれの板厚を支持側から t_1 , t_2 および t_3 とした。

拘束条件は、支持部(図中A部)を完全拘束とした。

荷重条件は、自由端部に面外方向の力を付加、力の大きさは計算を容易にするべく100Nとした。

3.2 最適化計算条件

最適化計算をするために、設計変数、制約条件および目的関数をそれぞれ設定する必要がある。

設計変数は $t_1 \sim t_3$ の板厚とし、変数の領域を1~5mmと1~6mmの2パターンで、離散幅は0.1mmと0.01mmと連続変数の3パターンで最適化計算を実施し、得られた最適解について検証した。

制約条件は、図2のA・B・C部の応力制約とし、許容値はすべての部位にて200MPa以下とした。

目的関数は、設計変数により設定された板厚から算出される重量の最小化とした。

3.3 最適化手法

最適化手法は多くの種類が存在し、問題に適した手法を選択することが必要である。選択の基準は、最適化に要求する精度や許容される計算時間、設計変数のタイプや目的関数・制約条件のタイプなど多くのものが考えられるが、今回は最適化ソフトであるmodeFRONTIERに搭載されている次の二つの手法について検証した。

3.3.1 SIMPLEX法⁽³⁾

勾配法の一つ、設計変数に対する目的関数の勾配情報を基に最適解を探索する手法である。利点は、設計変数に対する目的関数の分布が単峰的(でこぼこしていない)な場合、少ない計算回数で確実に最適解を求められる。欠点は、目的関数の分布が多峰的な場合、ある設計点の近傍しか探索できず、局所最適解に収束しやすい。また、単目的最適化手法であるので、パレート解(多目的最適化問題の最適解群。相反する目的関数間のトレードオフにより優劣つけ難い解の集合)を効率的にとらえることは難しい。

3.3.2 MOGA-II⁽⁴⁾

確率的手法である遺伝的アルゴリズム(GA)の一つ、勾配情報を持たず、一つの解ではなく解集団を最適化していく手法である。利点は、局所解に収束しにくく大域的な最適解を得られる。また、パレート最適解群を効率的に得ることができる。欠点は、目的関数の評価回数が他の最適化手法に比べて多いことから、計算時間が長くなる。

3.4 最適化計算結果および考察

計算結果のまとめを、表1に示す。

a~cの三つは、離散幅ごとにおける理論上の最適解である。⁽⁵⁾

d~iの六つは、SIMPLEX法の最適化計算結果である。

j~mの四つは、MOGA-IIの最適化計算結果である。

(連続変数の最適解は、小数点以下4桁にて表示)

表における肌色の値は、理論上の最適解から大きく離れる。

表における黄色の値は、理論上の最適解から少し離れる。

表における白色の値は、理論上の最適解と同じまたは同等

表1 簡易モデル計算結果
Simple model calculation results

	設計変数			最適化手法	最適解 (板厚)			目的関数 (重量)	
	下限	上限	離散幅		t 1	t 2	t 3	wt	wt理論値
a	-	-	0.1	-	3.0	2.5	1.8	0.14326	
b	-	-	0.01	-	3.00	2.45	1.74	0.14110	
c	-	-	連続	-	3.0000	2.4495	1.7321	0.14094	
d	1	5	0.1	SIMPLEX	4.1	4.0	1.8	0.19429	136%
e	1	6	0.1	SIMPLEX	3.0	4.7	1.8	0.18644	130%
f	1	5	0.01	SIMPLEX	3.01	2.45	2.19	0.15013	106%
g	1	6	0.01	SIMPLEX	3.00	5.02	1.74	0.19154	136%
h	1	5	連続	SIMPLEX	3.0007	2.4495	1.7321	0.14095	100%
i	1	6	連続	SIMPLEX	3.0001	5.0097	1.7321	0.19118	136%
j	1	5	0.1	MOGA-II	3.0	2.5	1.8	0.14326	100%
k	1	6	0.1	MOGA-II	3.0	2.9	1.9	0.15308	107%
l	1	5	0.01	MOGA-II	3.02	2.52	1.74	0.14287	101%
m	1	6	0.01	MOGA-II	3.01	2.50	1.79	0.14326	102%

である。

SIMPLEX法では、設計変数の離散幅が同じ条件での結果を比較(dとe, fとg, hとi)すると、領域の大きさ違いで結果が異なる値になってしまった。また、その値も多くが理論上の最適解から大きく離れ、安定した解が得られなかった。これは、一部の設計変数が途中で固定化され、一部の設計変数だけ収束計算されたことにより、局所最適解に陥った結果と思われる。

一方、MOGA-IIでは、設計変数の条件による結果の違いは小さく、その得られた結果も理論上の最適解と近い値になっている。GAの特徴である大域探索から、SIMPLEX法のように局所最適解に陥ることはないが、計算数は必然的に多くなってしまふ。ただし、計算数を増やせばその分精度も上がることから、要求精度によって計算数をコントロールすることも可能である。

今回、異なる二つの最適化手法で同じ問題について検証したことから、最適化手法の選択を誤ると最適解を得ることができないことが分かった。つまり、他の解析同様(例えば、構造解析において拘束条件の設定方法を誤ると現実とは異なる結果になるなど)使い方が重要であるということが確認できた。

本章での検証事項、つまり「最適化計算で得られた解は、本当に最適解なのか?」については、問題に適した使い方(各種設定方法)を正しく選択すれば、最適解の探索は可能であることは確認できた。

4 油圧ショベル・ブームでの検証

4.1 背景

油圧ショベルにおけるアタッチメント軽量化は、重量低減によるコスト削減以外にも「運動性能向上」や「燃費低減」の効果があることから、商品力強化における最重要課題である。そこでアタッチメントの主構造であるブーム(図3)を対象に、軽量化を目的とした最適化計算を実施した。

4.2 最適化計算条件

4.2.1 設計変数

ブームの断面はBOX構造になっており、構成している板の板厚を設計変数とする。図4に示すように、上面を3分割(①, ②および③)、側面を2分割(④および⑤)および下面を3分割(⑥, ⑦および⑧)し、全部で8個の設計変数とした。

設計変数は、構造材として実在する板材の厚さは不連続値



図3 油圧ショベル
Hydraulic excavator

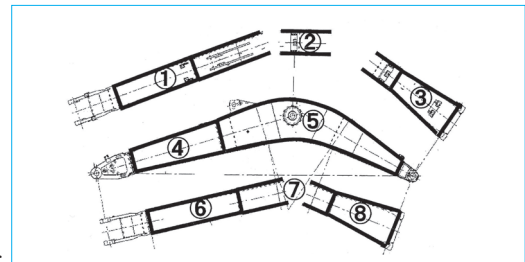


図4
設計変数
Design
parameter

であるので、領域と離散幅を設定するのではなく、実在する板厚が選択されるように設定した。(実在板厚<mm>:…8, 9, 10, 12, 14, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 36…)

4.2.2 制約条件

3.2.1で設計変数に設定された板要素における応力制約とし、評価する際の許容値は、最大強度や疲労を想定した複数の荷重条件に対してそれぞれ荷重条件ごとに設定した。

4.2.3 目的関数

ブームの重量最小化である。

4.3 最適化手法

設計変数の数が多く、不連続値であることから、遺伝的アルゴリズムの一つであるMOGA-IIを適用した。

4.4 最適化計算結果および考察

最適化計算結果を、図5に示す。横軸に目的関数である重量を、縦軸に制約条件に設定した応力値(図5は部材⑤)としている。図中の◇実行不可能は、制約条件未達を示す。最適化計算結果を拡大表示することで、今回の目的である重量最小の設計案Aが最適解として容易に選択することができる。

また、今回は重量最小化のみの単一目的最適化だが、部材⑤の応力最小化も目的関数に加えた多目的最適化とすると、重量を最優先と考えれば設計案Aが最適解となる。部材⑤の応力を安全目を選択したいと考えれば設計案Bが最適解となる。つまり、二つの設計案における重量と応力の差が読み取れる図5は、二つの目的関数の影響度を把握しながら設計的にどちらを選択したら良いか検討する材料として有効である。

次に、部材⑤の応力に対する設計変数の影響度を示すグラフを、図6に示す。部材⑤の応力に対して、部材④や⑦が影響度大きく、部材①や⑥が影響度小さいことが分かる。図6だけで分かることは、前述の影響度だけであるが、例えば、別の検討において「部材⑦の応力に余裕があるから部材⑦を薄くしようか?」と考えた場合に、図6から部材⑤に与える影響が大きいことから、部材⑦の板厚を決定する上で部材⑤の応力結果に注意が必要であることが容易に理解できる。一方で、もともとの設計構造に立ち返ると、部材⑦と⑤はブー

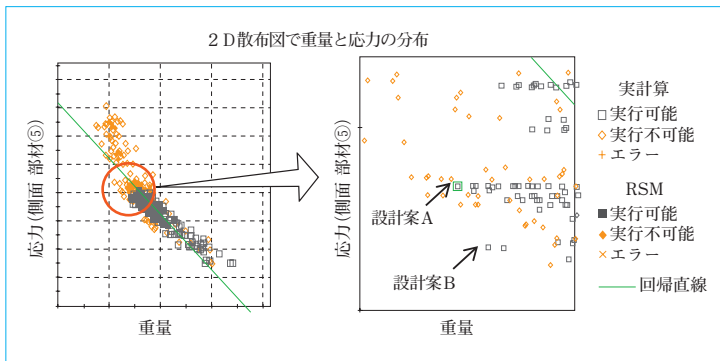


図5 最適化計算結果
Optimization calculation result

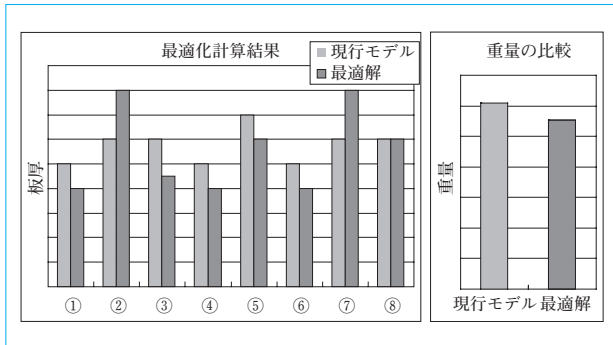


図7 最適解と現行モデルの比較
Comparison between optimum solution and current model

ムの中央付近の断面を構成している部材であることから、お互いに影響度が高いことは構造設計に携っている者からすると当然の結果とも考えられる。ただし、同じ断面を構成している部材②は影響度が比較的小さいことや、部材⑤の応力において部材②と⑦の影響度の差がどの位あるかなど別の見解を得ることができる。

最後に、今回の最適解となる設計案Aと現行モデルとの比較を図7に示す。今回注目すべき結果は、ブーム中央部の断面を構成する部材②と⑤と⑦である。部材②と⑦の板厚を大きく増やして部材⑤の板厚を小さくすることで、最終的に重量が軽い設計案を抽出している。軽量化を考えている際に板厚を小さくできないかという検討はするが、ある部分の板厚を増やしてある部分は減らそうという考えは、既製品のモデルチェンジなどの設計においては経験や実績から設計案として抽出されにくく、時間的制約からそこまで多くの検討ができない場合もある。今回のように最適化計算を実施することは、新たな設計案を創出する有効な手段の一つである。

実機モデルの適用性の検証に、油圧ショベルのブームにて最適化計算を実施し、前述の如く軽量化案の創出や設計検討の材料として有効であることが分かった。また、今回の対象製品のようにほぼ同構造でサイズ違いの製品があるような場合、解析モデルのルール化をすることで、最適設計システムをより効果的に運用することができる。

5 最適化手法の活用

3章および4章より、最適化手法において得られた解に対する妥当性や実機への適用性については、ある程度確認できた。しかし、実際の設計に活用していくうえでは大きく分けて二つのことに注意が必要である。

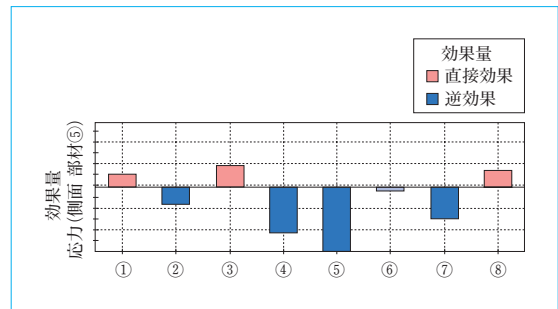


図6 ブーム結果
Influence level of design parameter

まず一つ目は、3章でも述べた最適化手法の使い方である。今回適用した最適化ソフトのmodeFRONTIERをはじめ、市販されている最適化ソフトには数多くの最適化手法が機能として備わっている。さまざまな問題に対応できる反面、選択が難しくなっている。前述のように選択を誤ると最適解とは異なる結果に辿り着くことがある。それぞれの最適化手法の特徴を理解し、解こうとしている設計問題はどの手法が適しているか判断できるように、正しい使い方を習得する必要がある。

二つ目は、設計者の技術力低下に関する懸念である。設計者が最適化計算結果に対して、何も検討せずに結果を最適解であると主張したらかなり危険な兆候である。最適化は、新たな設計案の創出や繰り返し計算の自動化をするツールとして便利であるが、最終的な判断は設計者がする必要がある。正しい判断には、技術伝承やOJTの中で、指導者は設計者に対して、出てきた結果に対する技術的な考察を常に投げかけていく必要がある。

6 むすび

- (1) 最適化ソフトと構造解析ソフトを組み合わせたシステムを構築した。
- (2) 簡易モデルにて構造物における最適化計算を実施し、理論上の最適解が探索可能であることを確認した。
- (3) 最適化計算を実施する際、設計問題に適した最適化手法を正しく選択することが重要であることを確認した。
- (4) 油圧ショベルのブームにて最適化計算を実施し、実機モデルにて軽量化案の抽出ができた。
- (5) 実機モデルでの最適化計算を実施したことから、最適化計算は新たな設計案の創出や設計検討の材料として有効であることを確認した。

今後は、実機モデルでの適用事例を増やしつつ、構造物における最適化手法の活用方法および有用性を立証していく。

(参考文献)

- (1) PLAINセンターニュースNo.132設計の最適化について(2). 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部宇宙科学情報解析センター, Oct., 2004.
- (2) Femap Version 9.2.日本語版コマンド・リファレンス.
- (3) William H.Press, Brian P.Flannery, Saul A.Teukolsky and William T.Vetterling.NUMERICAL RECIPES in C,408.CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS,1988.
- (4) Fonseca C.M.and Fleming P.J..Genetic algorithms for multiobjective optimization -Formulation, discussion and generalization.Proc.5th international conference on genetic algorithms, 1993,p.416-423.
- (5) チモシェンコ・ヴォアノフスキー・クリューガー共著.板とシェル理論<上>.ブレイン図書出版株式会社,1973,p.3~4.

新型低排出ガスディーゼル式フォークリフト FD35-50PXI

New Low Emission Diesel Powered Fork Lift Truck FD35 - 50PXI



フォークリフトを含む特殊自動車に関する排出ガス規制が、エンジンの種類および出力区分により、2006年より順次施行された。今回紹介する車両は、2008年10月1日(注1)に施行されたディーゼル車の規制に対応するものである。

(注1) 継続生産車は、2010年9月1日より適用される。

住友ナコマテリアルハンドリング株式会社では、今回の排出ガス規制に合わせて、新型ディーゼルエンジンを搭載した新FD35-50シリーズを導入し、同時に外観向上、ISO対応および機能の向上を図った。

主要仕様

	新型	従来型
代表機種	FD50PXI	FD50PV III
最大荷重	5000kg	5000kg
走行速度(無負荷)	22.5km/h	24.0km/h
上昇速度(負荷)	400mm/s	435mm/s
ホイールベース	2150mm	2200mm

特長

- (1) 2008年排ガス規制をクリアした新型ディーゼルエンジン搭載により、従来車に比べ燃費を11%改善し、低燃費を実現した。また、排出ガス値を大幅に低減し、より厳しい環境基準に適合した(右表)。
- (2) ISO(国際標準化機構)に準拠した、2種類のロック機

能を装備し、オペレータの安全性を向上させた。荷役装置ロック機能では、オペレータが運転席を離れた際に自動的に荷役装置をロックし、オペレータがマストによって挟まれることを防止する。走行装置ロック機能では、オペレータが運転席を離れた際に自動的に前進・後進のシフト信号をニュートラルにし、走行をロックする。

- (3) マルチファンクションメータを採用し、シフトポジション、燃料量、エンジン水温、アワメータおよび時計/カレンダー他の車両情報を集中管理することにより、効率的なオペレーションを実現した。

新型エンジンの排出ガス性能比較

	排出ガス値 (g/kWh)		
	HC	NO _x	PM
従来排出ガス規制値(ディーゼル)	1.3	7.0	0.40
新排出ガス規制値(ディーゼル)	0.7	4.0	0.25
従来の規制値に対する低減率	46%	43%	37%

ISO 8187-4 C2 モードテストによる排ガス測定値

(住友ナコマテリアルハンドリング株式会社 光岡秀晃)

木造家屋解体機 SH75X-3BKK

Wooden House Demolition SH75X-3BKK



木造住宅の解体工事は建設リサイクル法により解体から廃棄物の搬出まで分別が義務付けられ、市場からは解体から整地までの一連の作業を安全に効率良く行える木造家屋解体機が強く望まれている。この要望に応じて、特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律(オフロード法)に適合し、低騒音型建設機械の指定を取得した小旋回型油圧ショベルをベースに、本機が開発された。

最大作業高さクラストップの8.1mとクラス最小レベルの後端旋回半径や広い視界、さらには安全性に充分配慮した構造により、狭い現場や木造2階建ての家屋解体に卓越した作業性を誇る。

特 長

- (1) 2ピースブームの採用により、8.1mの作業高さを実現した。標準アームは6.3mであり、瓦卸(かわらおろし)のほか、トタン剥ぎ作業や防水シートの取外し作業にも効果を発揮する。
- (2) エンドアタッチメントであるフォーク(掴み装置)が2階の屋根まで楽々届き、作業員が2階の屋根に上がっての作業が不要となり、安全性と作業性に大きく貢献する。また、クラス最小レベルの後端旋回半径であり、狭隘な住宅密集地でも安心して旋回動作が行え、地上での廃材の分別やトラックへの積込みが安全に効率よく行える。
- (3) アタッチメントの旋回にスイッチ方式(オプション)を

採用し、従来のフットペダルでの作業を軽減させ、スムーズな複合操作を可能にした。

- (4) 視界を遮らないフラットバーを格子に採用した解体専用フロントガードやヘッドガードにより、安全性を高めた。また、ラジエータ、オイルクーラおよびインタークーラの並列配置とコンデンサとの隙間間隔を最適に配置し、ラジエータの清掃性を向上させた。
- (5) 各種エレメントやフィルタの交換を可能にしたグランドアクセスを実現し、超撥水シートの採用でオペレータシートの清掃も容易である。
- (6) 高性能リターンフィルタの採用により、作動油の交換時間10000時間を実現した。また、EMSプッシュのフロントアタッチメントへの採用により、1000時間に1回の給脂間隔を可能にした。

(住友建機株式会社 佐野 昇)

住友重機械技報第174号発行に当たり

住友重機械技報第174号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導頂いている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力を頂くよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、さらに充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご批判賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い申し上げます。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては正確を期していますが、それらの変更がございましたら裏面の用紙にご記入の上、FAXでお知らせ頂きたいようお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2010年12月

〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先) _____ 住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2355	(発信元) _____ 貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.
--	--

住友重機械技報第174号の送付先の確認と読后感などの件

送 付 先 変 更	(旧送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____	➔	(新送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____
----------------------------------	--	----------	--

新 規 送 付 先	新しい部署ができた場合ご記入下さい。 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____ <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">必要部数 _____ 部</div>
----------------------------------	---

本 号 の 読 後 感 に つ い て	1 . 本号で、一番関心を持たれた記事は。 ●論文・報告 _____ ●技術解説 _____ ●新製品紹介 _____ 2 . 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(○印でご記入下さい。) 1 興味深かった 2 特に興味なし その理由をお聞かせ下さい。
--	--

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

変減速機、**インバータ**

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機，サイクロギヤモーターアルタックス，精密制御用サイクロ減速機，コンパワー遊星歯車減速機，[平行軸]パラマックス減速機，ヘリカルバディボックス，プレストギヤモータ，[直交軸]パラマックス減速機，ハイポニック減速機，アステロ直交ギヤヘッド，ベベルバディボックス，ライタックス減速機，HEDCON ウォーム減速機，小形ウォーム減速機
●変速機：[機械式変速機]バイエル無段変速機，バイエル・サイクロ可変減速機，[電気式変速機]インバータ，インバータ搭載ギヤモータ，サーボドライブ，DCドライブ
サイクロ，アルタックス，コンパワー，パラマックス，バディボックス，ハイポニック減速機，アステロ，ライタックス，HEDCON，バイエルおよびバイエル・サイクロは，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

プラスチック加工機械

●プラスチック加工機械：射出成形機，射出吹込成形機，ディスク成形機，セラミックス成形機
●フィルム加工機：押出機，フィルム製造装置，ラミネート装置
●IC 封止プレス
●ガラスプレス
●成形システム・金型:射出成形用金型，PET システム，インジェクションフロー成形システム，インモールドラベリング成形システム

レーザ加工システム

●レーザドリル装置
●レーザアニーリング装置
●YAG レーザと加工システム
●エキシマレーザと加工システム

半導体・液晶関連機器

●イオン注入装置
●放射光リング・AURORA，放射光ビームライン
●成膜装置：(液晶フラットパネル用)プラズマ薄膜形成システム
●精密位置決め装置 XY ステージ
●モーションコーポネント
●ライン駆動用制御システム
●マイクロマシン
●レーザアニーリング装置
●半導体封止装置
●ウエハ研削装置

AURORA は，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

環境施設

●環境・エネルギー関連プラント：循環流動層(CFB)ボイラ，ロータリーキルン式産業廃棄物処理施設
●大気関連プラント：電気集塵装置，灰処理装置，乾式脱硫・脱硝装置
●水関連プラント：上水処理施設，下水処理施設，浸出水処理施設
●産業廃水処理装置

加速器，**医療機器**，**精密機器**，**極低温機器**，**超電導磁石**

●イオン加速器：サイクロトロン，ライナック，シンクロトロン
●電子線照射装置
●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIS，標識化合物合成装置，がん治療用陽子サイクロトロン，治療照射装置
●冷凍機：バルスチューブ冷凍機，4KGM 冷凍機，スターリング冷凍機，クライオポンプ用冷凍機，MRI 用冷凍機
●人工衛星搭載観測装置冷却システム
●超電導磁石：ヘリウムフリー超電導マグネット
CYPRIS は，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

事業所

本 社	〒 141-6025	東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)	技術開発センター	〒 237-8555	神奈川県横浜賀市夏島町19番地
関 西 支 社	〒 530-0005	大阪市北区中之島 2 丁目3 番33号 (大阪三井物産ビル)	技術開発センター (田 無)	〒 188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号
中 部 支 社	〒 461-0005	名古屋市東区東桜1丁目10番24号 (栄大野ビル)			
九 州 支 社	〒 810-0801	福岡市博多区中洲5丁目6番20号(明治安田生命福岡ビル)			
田無製造所	〒 188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号			
千葉製造所	〒 263-0001	千葉市稲毛区長沼原町731番地1			
横須賀製造所	〒 237-8555	神奈川県横浜賀市夏島町19番地			
名古屋製造所	〒 474-8501	愛知県大府市朝日町6丁目1番地			
岡山製造所	〒 713-8501	岡山県倉敷市玉島乙島新湊 8230番地			
愛媛製造所					本号に関するお問い合わせは、技術本部技報編集事務局(電話番号は下記)宛お願い致します。
新居浜工場	〒 792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号			
西条工場	〒 799-1393	愛媛県西条市今在家1501番地			住友重機械工業株式会社のホームページ http://www.shi.co.jp/

物流・パーキングシステム

●自動倉庫システム
●高速自動仕分システム
●FMS/FA システム
●無人搬送システム
●機械式駐車場

金属加工機械

●鍛圧機械：フォージングプレス，油圧プレス，フォージングロール，超高压発生装置
●工作機械，クーラント処理装置
●SPS(放電プラズマ焼結機)

運搬荷役機械

連続式アンローダ，港湾荷役クレーン(コンテナクレーン，タイヤマウント式ジブクレーン，タイヤマウント式LLC)，トランスファクレーン，ジブクレーン，ゴライアスクレーン，天井クレーン，製鋼クレーン，自動クレーン，ヤード機器（スタッカ，リクレーマ，スタッカ／リクレーマ），シップローダ，ベルトコンベアおよびコンベアシステム，リフティングマグネット装置，コークス炉移動機械

船舶海洋

●船舶：油槽船，撒積運搬船，鉱石運搬船，鉱油兼用船，コンテナ船，自動車運搬船，その他海洋構造物

インフラ整備関連

●海洋・港湾構造物：沈埋函，ケーソン

化学機械，**プラント**

●一般プラント：紙・パルプ製造装置，化学装置，原子力装置
●発電設備：循環流動層ボイラ
●圧力容器：リアクタ，塔，槽，熱交換器
●攪拌混合システム：マックスブレンド攪拌槽，スーパーブレンド(同心2軸型攪拌槽)，バイボラック（横型2軸反応装置）
マックスブレンドおよびバイボラックは，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

建設機械，**フォークリフト**

油圧式ショベル，移動式環境保全およびリサイクル機械，杭打機，道路舗装機械，フォークリフト

タービン，**ポンプ**

蒸気タービン，プロセスポンプ

その他

航空用機器，精密鋳鍛造品，防衛装備品(各種機関銃，機関砲およびシステム)

※ 文章中のソフトウェア等の商標表示は，省略しております。

技報編集委員

委 員	渡 辺 哲 郎	委 員	荻 原 勇 男
	石 田 浩 修		天 野 光 昭
	平 田 徹 一		岡 林 明 伸
	大 谷 博 之		須 田 祐 一
	伊 藤 亮 平		中 谷 好 宏
	西 原 秀 司		村 野 賢 一
	青 野 正 幸		片 岡 久 典
	浅 井 一 浩		石 倉 武 久
	川 井 浩 生		日 南 敦 史
	諏 訪 義 和		井 手 紀 彦
	乃 美 和 博	事務局	技術本部

無断転載・複製を禁ず ©

Copyright © 2010 Shimagawa Seiki Co., Ltd. All Rights Reserved.