

## 【グループ・テーマ3 シーケンシャル・ユース・システム構築法とプロセス評価手法の開発】

サブテーマ名：3-1シーケンシャル・ユース・システム構築法の開発

小テーマ名：3-1-2 廃棄物・廃熱シーケンス合成問題の定式化と解法の開発

## サブテーマリーダー(所属、役職、氏名)

京都大学大学院工学研究科 教授 長谷部 伸治

## 研究従事者(所属、役職、氏名)

京都大学大学院工学研究科 教授 前一廣、准教授 加納 学、牧 泰輔

(財)滋賀県産業支援プラザ 主任研究員 谷口 智

関西日本電気(株) 環境工務部 部長 山口 浩司、チームマネジャー 西口 佳孝、

主任 三好 君雄、矢谷 龍男、安藤 勝、田尻 孝介、二神 義英

積水化学工業(株) モノづくり革新センター 理事 沼田 雅史、

滋賀水口工場樹脂製造部 部長 藤坂 朋弘、企画管理部 課長 佐藤 宏史

## 研究の概要、新規性及び目標

## ①研究の概要

本小テーマでは、小テーマ3-1-1で開発された要素技術や流れの分配モデル、廃棄物と廃熱を同時に考慮したシステムモデルを用いて、廃棄物や廃熱の質と量、様々な利用可能要素技術とその稼働コスト、最終製品(廃棄物)の各候補の価格が与えられた条件下で、廃棄物や廃熱を有効に利用する最適なプロセス構成をシステマティックに導出する手法のモデル化とその解法を開発する。

## ②研究の独自性・新規性

従来、廃棄物や廃熱の有効利用を考える際には、そこで利用できる要素技術を予め定め、その要素技術を用いることを前提に技術者の経験により、プロセス構造が定められてきた。本小テーマでは、廃棄物や廃熱を有効に利用するプロセスを考える問題を、プロセス合成の最適化問題としてとらえ、利用可能な様々な要素技術とその利用結果である製品(あるいは安定な廃棄物)の組合せの中から、最適なものを選択するシステムの構築を目指している点が、従来の考え方との大きな相違点である。

## ③研究の目標(各フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に)

## [フェーズⅠ]

- ・プロセス合成の問題は、混合整数線形計画問題、非線形計画問題、混合整数非線形計画問題等、様々な定式化が可能である。それぞれの定式化について、最適解の導出時間、最適解導出のロバスト性等の観点から、適切な解法を求める。その1つとして、内点法を用いた解法を検討する。
- ・システムバウンダリー外へ出る物質の価値が既知の条件下で、現在ある廃棄物の価値を評価する手法のアルゴリズムを開発する。
- ・現在ある廃棄物の価値を評価する手法のプログラム化と検証をする。
- ・比較的小規模な問題(物質数 10、流体数 10、要素技術 10 程度(定式化後のサイズ、連続変数 1,000、離散変数 30 程度))を対象として、既存の最適化ソルバーを用いて求解が可能であることを検証する。

## [フェーズⅡ]

- ・現実規模の問題((物質数 30、流体数 30、要素技術 30 程度(定式化後のサイズ、連続変数 10,000、離散変数 100 程度))に適用し、最適なプロセス構成を提示する。
- ・無機廃棄物および有機廃棄物を排出する工場それぞれに対し、シーケンス合成問題を定式化する。
- ・各工場の現状の廃棄物処理方法と比較することにより、環境負荷低減の可能性を提示する。

## 研究の進め方及び進捗状況(目標と対比して)

## [フェーズⅠ]

上記③研究目標の3項目については、大学側研究者およびコア研究室研究員を中心に研究を進める。また、「モデル工場への適用」については、参加企業研究者(データ提供と結果の評価)と大学側研究者(定式化と求解)で共同して研究を進める。本小テーマのフェーズⅠの目標に対しては、全て達成した。

## [フェーズⅡ]

さまざまな形式で定式化された問題に対して、最適解の導出時間を短縮する解法改善を進める。

その改善した解法で大規模問題にも対応できるかの検討を進める。

本小テーマのフェーズⅡの目標に対して全て達成した。

## 主な成果

### [フェーズⅠ]

#### 1) 廃棄物価値の評価法

1つの廃棄物に対して、一般に複数の処理法が存在する。よって、廃棄物の価値は、利用可能な廃熱、利用可能な処理技術(要素技術)、処理して得られる最終製品の価値に依存すると考えることができる。本研究では、このような考えのもと、上述した各項目が与えられるという条件下で、廃棄物の価値を導出する手法を、プロセス合成問題を内部に含む最適化問題を解く手法として提案した。

#### 2) 廃棄物・廃熱シーケンス合成問題の定式化と求解

スーパーストラクチャー(考慮しうる全てのプロセス構造を含んだ構造)の考え方をを用いて、廃棄物・廃熱のシーケンシャル・ユース・システム合成問題を定式化した。そして、最適な構造を導出可能であることを、いくつかの例題に対して示した。

### [フェーズⅡ]

様々な形式で定式化された問題に対して、最適解導出時間を比較し、よりよい定式化法を選択した。

無駄な最適解探索をしないように解法の改善を行い、大規模な問題での最適解導出時間を短縮した。また、「目標」で設定した規模の問題が解けることを確認すると共に、大規模な問題に対して、最適解が得られる前に計算を停止しても、その時点までの最良解が得られるようにアルゴリズムを改良した。

特許件数：0

論文数：1

口頭発表件数：9

## 研究成果に関する評価

### 1 国内外における水準との対比

廃棄物を対象としたプロセス合成に関する研究は、プロセスシステム工学の分野で、米国の研究者を中心に10年ほど前から積極的に研究が進められている。しかしながら既存の研究では、利用する要素技術を定めた条件下で、最適な流れの分配に関するものがほとんどである。本研究では、利用する要素技術の選択までも視野に入れており、従来にない独自の研究である。また、廃棄物と廃熱の合成問題を同時に扱った例はなく、その点でも独創性の高い研究である。

### 2 実用化に向けた波及効果

提案した手法により、廃棄物の価値や廃棄物処理技術の処理コストを、その置かれている環境に依存する形で求めることができる。この考え方をを用いてシステムを開発することにより、様々な廃棄物処理技術を導入すべき環境を考慮して直接比較することが可能となり、与えられた環境下でのシーケンシャル・ユース・システム導入可否の判断に広く利用できる可能性がある。

スーパーストラクチャーの考え方をを用いた廃棄物・廃熱のシーケンシャル・ユース・システム合成問題の定式化と解法は、考え得る構造全てを網羅しているという特徴を有する。よって、提案手法の実用化により、従来、経験で行われてきたプロセス合成結果と最適なシステムとの遊離の度合いが定量的に評価できるようになり、今後のシステム改良の基礎データとして、技術者に有用な情報を提供できるようになる。

## 残された課題と対応方針について

特になし

	J S T負担分(千円)							地域負担分(千円)							合計
	H14年	H15年	H16年	H17年	H18年	H19年	小計	H14年	H15年	H16年	H17年	H18年	H19年	小計	
人件費	175	603	494	731	676	0	2,679	1,000	600	8,600	13,100	12,000	0	35,300	37,979
設備費	0	50	245	317	0	0	612	0	0	0	0	0	0	0	612
その他研究費*	3,159	1,786	1,785	3,541	107	0	10,379	0	0	2,965	2,730	730	0	6,425	16,804
旅費	5	65	58	114	81	0	323	0	0	981	685	405	0	2,071	2,394
その他	19	343	544	1,610	1,667	0	4,183	0	0	1,191	1,480	1,280	0	3,951	8,134
小計	3,358	2,846	3,127	6,314	2,532	0	18,176	1,000	600	13,737	17,995	14,415	0	47,747	65,923

## 代表的な設備名と仕様 [既存(事業開始前)の設備含む]

J S T負担による設備：計算専用ワークステーション一式、自動ボンベ熱量計一式、質量分析計一式

地域負担による設備：

※複数の研究課題に共通した経費については按分する。