

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目： 基盤研究(S)  
 研究期間：2004 年～2008 年  
 課題番号：16101005  
 研究課題名(和文) 災害時コンビナート機能維持のための高度安全制御統合化環境の構築  
 研究課題名(英文) Construction of an Advanced Integrated Control Structure for Safety and Functional Maintenance in Disaster-Stricken Industrial Complex  
 研究代表者  
 井上 昭 (INOUE AKIRA)  
 岡山大学・大学院自然科学研究科・教授  
 研究者番号： 60026234

研究成果の概要：工場集積地帯における災害時での機能維持のため、プラントの異常検出，防災対策，物流再計画，安全制御則，運転支援などの機能を持つ高度安全制御統合化環境を構築した。同環境の各機能は分散エージェント毎に実装され，各エージェントは，分散協調通信サーバを介してネットワーク化されている。エージェント構成のためのツールが用意され，各エージェントは容易に追加，変更が可能である。エージェント間の情報授受は IDEF0 によるアクティビティモデルによって明確にされている。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004 年度	18,900,000	5,670,000	24,570,000
2005 年度	32,000,000	9,600,000	41,600,000
2006 年度	15,500,000	4,650,000	20,150,000
2007 年度	11,600,000	3,480,000	15,080,000
2008 年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
総計	85,800,000	25,740,000	111,540,000

研究分野：システム工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：情報システム，システム工学，安全工学，減災，ネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

大規模な地震など災害が発生すると，住民だけでなく，産業へも大きな被害がおよび，災害時や事故発生時でのプロセス管理システムが社会的に求められていた。しかし，プロセス管理の種々の要素を統合的に管理するシステムは提唱され，企業において具体的に構築されてはいたが，項目間の整合性が不明瞭であった。システムの追加，変更が容易で，かつ，最新の運転支援，故障診断，物流計画の機能を有する具体的な統合化環境システムの構築が待たれていた。

## 2. 研究の目的

災害時や事故発生時でのプロセス管理，および，平常時での防災対策のプロセス管理のための個別技術を開発し，統合化して安全制御統合化環境を構築する。開発する個別技術はアクティビティモデル，化学反応評価のためのマイクロリアクタ評価装置，故障診断手法，生産・物流計画手法，安全制御系設計手法，運転支援システム，防災支援システムである。個別技術を統合化環境の分散エージェントとして実現し，各エージェントを分散協調通信サーバを介して接続して統合化環境を構築する。

### 3. 研究の方法

前項で述べた統合化環境に必要なとされる機能を実現するため、まず、具体的な個別研究テーマについて各研究分担者が研究開発し、得られた最新研究成果を分散エージェントとし、分散協調通信サーバを介して統合化環境として図1のようにネットワーク化した。統合化環境のプラットフォームとして Java 用分散オブジェクト HORB をベースとして開発された環境を用いた。

統合化環境に、シミュレータ、プロセス実験装置、防災活動支援装置も含まれる。

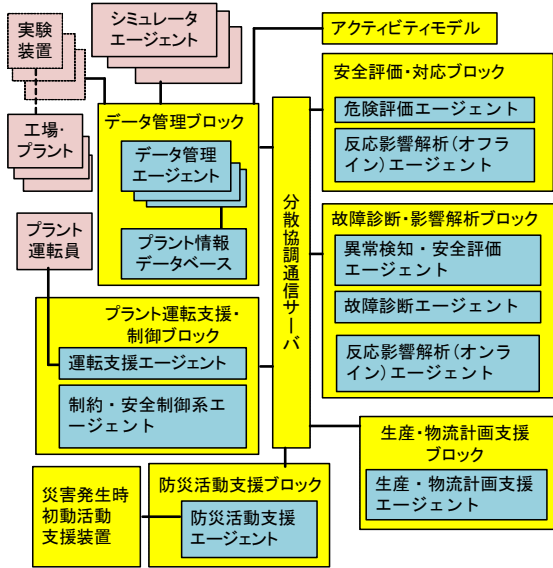
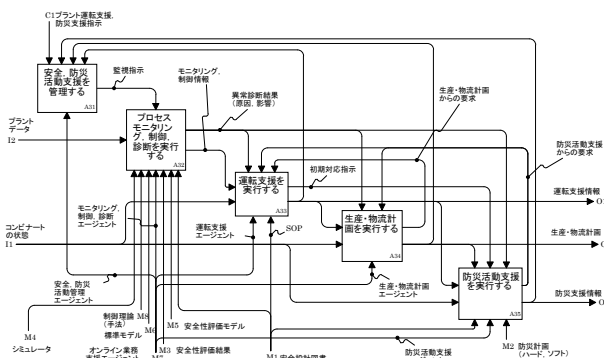


図1. 統合化環境を構成する主なエージェント

### 4. 研究成果

統合化環境プラットフォームとして Java 用分散オブジェクト HORB をベースとして開発された環境を用い、統合化環境の各機能は、分散協調通信サーバに接続される分散エージェントとして実現した。分散エージェントの共通部分を抽出実装したスケルトンプログラムを作成し、分散エージェントとしての実装を容易にするツールを開発した。本環境は機能の追加、変更が容易に可能である。



個別研究成果として、次の成果を得た。  
(1) コンビナートでのプラント運転管理、

物流・生産計画、防災活動に関する機能を IDEF0 形式によりモデル化し、それぞれの機能実行に関する情報を明らかにして、各機能を結びつける情報の流れを明確にした。図2には、作成したアクティビティモデルの一部を示す。

(2) 制御理論を利用して、モデルに不確かさを含む場合の故障診断法を開発しエージェント化し、製作したプラント実験装置(図3)に対してネットワークを介して評価した。

(3) 入力制約のある場合、および、コントローラも安定な強安定制御則を求め、エージェント化してネットワークを介してやはり図3のプロセス実験装置の制御を行っ

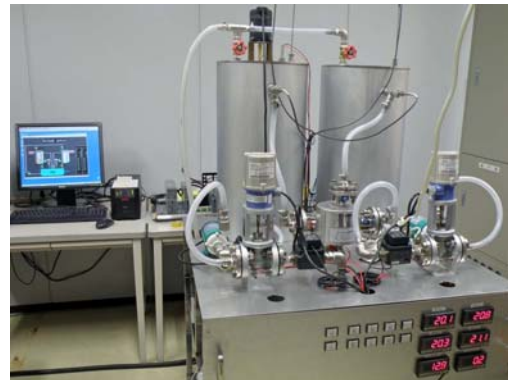


図3. プロセス実験装置

た。

(4) 安全評価のためのマイクロリアクタ装置を製作し、オンラインにより反応速度を計測し、温度依存性や反応の活性化エネルギーを求めた。

(5) 分散エージェント法を用いた生産計画、原料運搬計画法を考案し、図4に示すシミュレータに対して分散協調通信サーバを介してエチレンプラント各炉生産計画、製鉄所製鋼工程生産計画、製鉄所原料ヤード鉱石運搬計画に適用した。いずれも計画を迅速に作成可能であることを確認した。

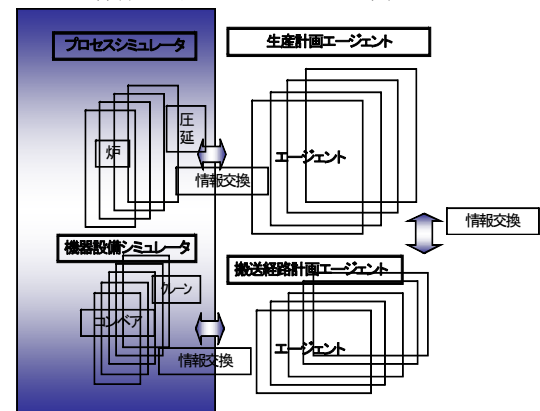


図4 製鉄所生産計画、搬送計画作成

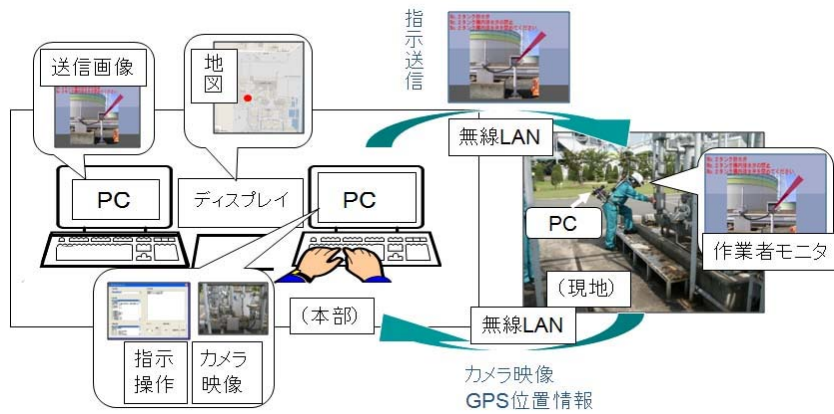


図5 防災活動支援システム

(6) プラント運転員支援システムとしてヒューマンエラーを防ぐための動的操作パーミッションシステムを構築した。本システムでは、運転員の操作を運転手順書に基づいて確認し、機能モデルに基づいて、その操作のプラント挙動への影響を定性的に評価する。石油精製プラントシミュレータに適用し、後述の異常シナリオにより本システムの有効性を確認した。

(7) 防災活動支援システムとして現場の初動隊員と本部との間で、初期活動や防災訓練に必要な情報を送受信するシステム(図5)を構築し、実際に東京都日野市によって試験運用を行い、有用性が確認された。

(8) 危険評価・防災強化対応、および、安全評価・故障要因分析の手法として、アクティビティモデルを用い、Fault Semantic Network (FSN) によって、定性モデルを定量モデルと統合した故障シミュレータ法を考案し、プラント実験装置に適用し有効性を確認した。エージェントとしては閾値判定による異常検知、および、機能モデル(MFM)

と部分モデルを用いた異常原因推定を行うデータ監視エージェントを構成し、次項のシナリオに用いた。

(9) いくつかの異常シナリオによって統合分散協調システムの評価を行った。異常シナリオでは、模擬対象としたプラント等は、石油精製プラント、エチレンプラント(5つの熱

分解炉)、および、鉄鋼プラントの原料ヤードであり、地震発生により、石油精製プラントのナフサ抜き出しポンプの性能が低下した場合(生産減少のまま運転継続と石油精製プラントの停止の2種類)と、エチレンプラントの熱分解炉の1器が異常発生により停止した場合を考えた。合わせて防災活動支援システムも連携動作させた。同シナリオでは、図6のように12のエージェントが連携して動作している。複数の安全工学専門の大学教員、および、企業技術者から、異常シナリオのデモに対して、システムとして有効に機能しているとの評価を得た。

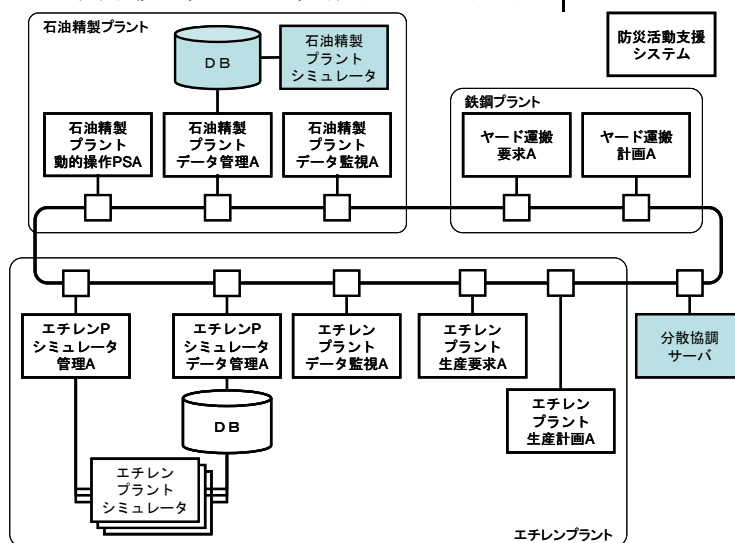
プロセス安全管理の諸相を統合的に行うシステムが求められていたが、従来は拡張性、柔軟性、項目間の整合性に欠点があった。本システムは安全管理のための個別の最新技術をエージェントによって容易に取り入れることができる。本システムは、学術雑誌の解説記事、国際会議での招待講演で紹介する機会を得た。

本計画の研究では2件の論文賞を得た。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 57件)

- ①コンビナート機能維持のための高度安全制御統合化環境の構築, 井上昭, 五福明夫, 島田行恭, システム/制御/情報(システム制御情報学会誌), 査読有, 53巻, 7号, 2009(採録決定済)
- ②Fault detection system design to an actuator fault of a thermal process using operator based approach, M. Deng, A. Inoue, and K. Edahiro, ACTA AUTOMATICA SINICA, 査読有, (2009) (Accepted)
- ③Analytical Process and System Design of Integrated Fault Diagnosis.



シナリオにおけるエージェント群

図2. アクティビティモデルの一部

Hossam A. Gabbar, Hanaa E. Sayed, Ajiboye S. Osunleke, Masanobu Hara, International Journal of Process Systems Engineering. 査読有, 2009, In Press

④「機能」と安全マネジメント, 五福明夫, 安全工学, Vol. 47, No. 4, pp. 201-209, 査読有, 2008

⑤Development of Activity Models of Integrated Safety and Disaster Management for Industrial Complex Areas”, Yukiyasu Shimada and Hossam A-Gabbar, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol.5179, pp.1-8, 査読有, 2008

⑥Distributed Optimization Method for Simultaneous Production Scheduling and Transportation Routing in Semiconductor Fabrication Bays, Takaharo Furusho, Tatsushi Nishi and Masami Konishi, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 4, No. 3, 559-575, 査読有, 2008

⑦Stable Robust Feedback Control System Design for Unstable Plants with Input Constraints using Robust Right Coprime Factorization, Mingcong Deng, Akira Inoue, Akira Yanou, International Journal of Robust and Nonlinear Control, Vol. 17, Issue 18, pp.1716-1733, 査読有, 2007

⑧Formal Representation of Meta-Operation of Chemical Plants, H. A. Gabbar, IEEE Trans. Of System, Man, and Cybernetics, Part C: Application and Reviews Vol. 37, No. 4, 633-643, 査読有, 2007

⑨人間の簡略化傾向を考慮した因果推論過程の対話的説明表示, 五福明夫, 嶋田雄介, 水原啓暁, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 8, No. 3, pp. 321-330, 査読有, 2006(第7回ヒューマンインタフェース学会論文賞, 2007年3月)

⑩Operator based nonlinear feedback control design using robust right coprime factorization, M. Deng, A. Inoue, and K. Ishikawa, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 51, No. 4, 645-648, 査読有, 2006

⑪Distributed Route Planning for Multiple Mobile Robots Using an Augmented Lagrangian Decomposition and Coordination Technique, Tatsushi Nishi, Masakazu Ando and Masami Konishi, IEEE Transaction on Robotics, Vol. 21, No. 6, December 2005, pp. 1191-1200, 査読有, 2005

[学会発表] (計 102件)

①Operator based nonlinear control and fault detection--new challenge of system control engineering, M. Deng and A. Inoue, UK Postgraduate Workshop on Human Adaptive

Mechatronics, Stafford, UK, Invited special lecture, 査読有, 2009.1.16

②コンビナート機能維持のための高度安全制御統合化環境の構築, 査読無, 井上昭, 化学工学第40回秋季大会シンポジウム「プロセス安全管理のフレームワーク構築のために」, 招待講演, 2008.9.24, 仙台

③Fault Detection Systems in Integrated Information Systems for Safety of Plant Complex Area, Akira Inoue and Mingcong Deng, International symposium on Advanced Control of Industrial Processes(ADCONIP) 2008 Jasper, Canada May 4-6, pp.80-85, 査読有, 2008.

④Agent based coordination of production control for oil refinery and ethylene plant operation, Akio Gofuku, Masami Konishi, Tadashi Ago, Junji Kikuchi, CD-ROM Proc. 2008 International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes, pp. 86-91, 査読有, 2008.5.4-6, Jasper, Canada

⑤エージェントモデルによる石油精製とエチレンプラントの生産計画連携化, 小西正躬, 菊池純二, 五福明夫, 吾郷忠, 日本生産管理学会第27回全国大会講演論文集, pp.127-130, 査読無, 2008.3.16, 福岡

⑥Development of a microreactor for rapid analysis of chemical reaction kinetics with absorption spectroscopy, Akinori Muto, Masa-aki Ebata, Akira Inoue, The SICE annual conference 査読有, 2008.8.20-22

⑦Support System for Disaster Relief Operations, Yasuhiro Kajihara, Seiko Taki and Shuhei Nishimoto, SICE Annual Conference 2008, 307-310, August 20-22, 査読有, 2008

⑧Fault Diagnosis Issues in Disaster-stricken Industrial Complex, Akira Inoue and Mingcong Deng, The 13th Int. Conf. on Automation and Computing, Stafford, UK, Keynote speech, 査読有, 2007.9.15

⑨Experimental Results of an Aluminum Plate Temperature Control by Stable Continuous-time Generalized Predictive Control, Akira Inoue, Mingcong Deng, Akira Yamaguchi, SICE-ICCAS 2006, Pusan, Korea, pp.511-515, 査読有, 2006.10.18-21 (Best Paper Award 受賞)

[図書] (計 3件)

①次世代のプラント運転支援技術, (社)電気学会 次世代の原子力運転保守技術調査専門委員会 編(代表編著者: 五福明夫), 大学教育出版, 査読有, 2007

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

①石油精製プラントのパラメータ予測装置  
及びパラメータ予測方法, 小西正躬, 西竜志,  
貫名高史, 長谷川龍作, 池田辰聖, 佐藤克哉,  
特願 2005-152577, 2005-334602, 2005. 5. 25,  
2005. 11. 18

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

井上 昭 (INOUE AKIRA)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号：60026234

### (2)研究分担者

小西 正躬 (KONISHI MASAMI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号：50322235

五福 明夫 (GOFUKU AKIO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号：20170475

梶原 康博 (KAJIHARA YASUHIRO)

首都大学東京・大学院システムデザイン研  
究科・教授  
研究者番号：70224409

武藤 明德 (MUTOU AKINORI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号：00174243

鄧 明聡 (DENG MINGCONG)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号：20295124

島田 行恭 (SHIMADA YUKIYASU)

独立行政法人労働安全衛生総合研究所・主  
任研究員  
研究者番号：10253006

### (3)連携研究者

今井 純 (IMAI JUN)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号：50243986