

# 化学プロセス工業化における コンカレントエンジニアリング 手法の開発

## プロジェクトの源流化度が わかれば結果が見える

住友化学工業(株) 愛媛工場  
尾崎 達也  
住友化学工業(株) 生産技術センター  
伊藤 孝徳

### Development of the Practical Concurrent Engineering Technique for Chemical Plant Industrialization

—The result of a project is predictable with the measurement of GEN-RYU-KA index—

Sumitomo Chemical Co., Ltd.  
Ehime Works  
Tatsuya OZAKI  
Process & Production Tech. Center  
Takanori ITOH

In order to overcome global competition and to keep continuous growth, it is indispensable to shorten the development period of products. Accordingly the practical CE technique was developed.

In developing this technique, the following keywords were thought as the most important, "GEN-RYU-KA", "running parallel" and "technological power" ; 1)GEN-RYU-KA, i.e., formation of the subject in the initial stage of development, 2)making the system which enables simultaneous task execution, 3)harmonizing several technological power that is the basis of the developing.

The subject of an industrialization-project was formed systematically by using various kinds of standardization sheets, the system which can manage a subject functionally with GEN-RYU-KA.

By expressing of the project-progress-condition using the OZ-chart which consists of formation, solution distribution and completeness of the subject, it is able to evaluate quantitatively how to do work or the level of technological power

The standard level of the degree of GEN-RYU-KA and degree of completeness for making project successful becomes clear, and it becomes possible to predict the results of the project.

This technique was applied to the project, following achievements were obtained, i.e., 25% shortening of the total developing period, full achievement of the target and innovation of stuff-section business.

### はじめに

住友化学工業(株)愛媛工場では、1995年にTPMを導入してEPP(愛媛・プロフェッショナル・プロダクション)活動をスタートさせた。現在、特別賞を目指してパートⅡステージ2活動に取り組んでいる。

開発管理活動においては、パートⅠでは垂直立上げを狙いとしてエンジニアリング業務の効率化、高度化に取り組んだ。パートⅡでは、活動対象を研究開発部門の一部にも拡大し、コンカレントエンジニアリング(以下CE)手法を採り入れて、開発工業化業務全体の高度化に取り組んでいる。その中で、プロジェクトマネジメント(以下PM)の領域にも踏み込んでプロジェクト(以下PJ)運営を定量化、見える化

するための実践的な手法を開発し、実PJ(D起業)での検証を行なった。

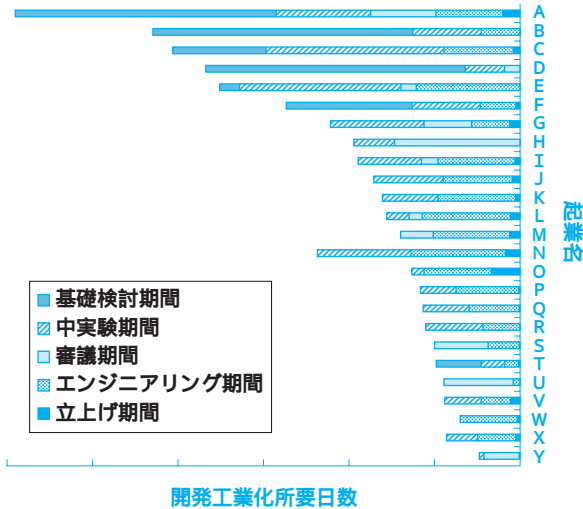
対象起業で理想的な形での垂直立上げとともに、Q(品質)、C(コスト)、D(納期)目標を完全に達成することができ、開発した手法の有効性が確認されたので、ここに紹介する。

### 当工場における開発管理活動の実態

まず初めに、開発管理活動の課題をブレイクダウンするために現状を調査し、実態を明らかにした。

1. 開発リードタイムの解析と「あるべき姿」の設定  
当工場において過去5年間に実施した主要起業につ

第1図 開発リードタイムの実績



いて基礎検討からプラント立上げまでの期間を調査し、解析した。(第1図)

本来、化学プラントの起業は固有性、独自性があり、単に平均化することには大きな意味は無いが、新技術・新製品開発から既存技術の改良・増強まで、プロセスを幾つかの層別、規模別に分類することにより、ある程度の標準的なパターンが見えた。

新技術・新製品開発における基礎検討を開始してから本格運転を確立するまでの平均的な期間は5.2年であり、その内訳はプロセス開発が3.7年、エンジニアリングが1.4年、立上げが0.1年である。

開発リードタイムを短縮するためには、その主たるプロセス開発を如何にスピーディーに進めるかがキーであり、よりコンカレントな業務遂行に改革することとし、「開発期間の30%短縮」を目標とした。

2. CEレベルの現状分析

CE化に取り組むに当たり、強みと弱みを知るべく様々なジャンル、階層を対象にアンケート調査を実施した<sup>1)</sup>。

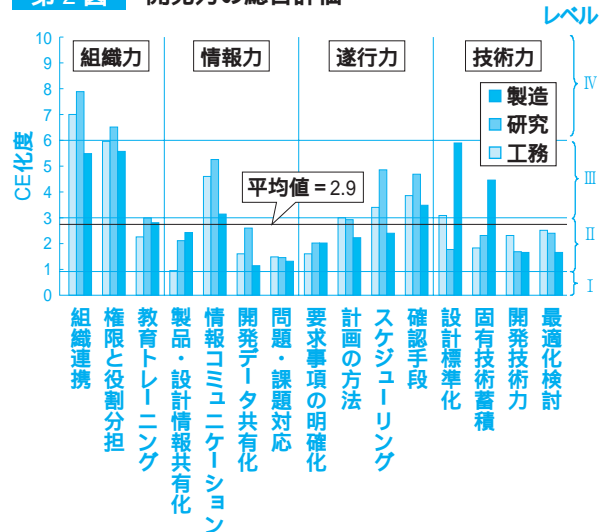
CEの4つの要件、15項目における自己評価では、組織力・情報力は一定の水準にあるが、遂行力・技術力で劣り、特に技術の共有化・課題対応・要求事項の明確化等は低水準で、総合的には全IV段階中IIの段階であった。(第2図)

実践的なCE手法の開発

1. CEの概念とキーワード

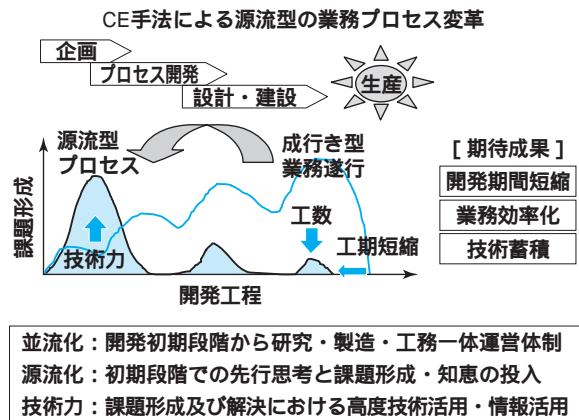
CE手法は、開発初期段階～プロセス開発～エンジニアリング～製造までの一連の業務を同時並行でシステマティックに進める仕事のやり方であり、特に開発初期段階での課題の抽出、形成に力点を置き、コンカ

第2図 開発力の総合評価



レントな業務遂行ができる組織形態、情報の共有化、ベースとなる技術力が重要である。つまり、並流化 (Concurrent) 源流化 (Front End Loading) 技術力 (Technology) の3つのキーワードで表現することができる。イメージとしては第3図のように先読み、先回り、攻めの発想であるが、この概念を定量化し、見える化するための実践的な手法を開発することとした。

第3図 源流型業務プロセス



2. 課題形成と共有化

一般的に、工業化PJでは技術水準、生産能力、経済性、開発期間等の明確な目標が設定される。

その目標を達成するためには、開発初期の段階で課題を網羅的、体系的に、より詳細にブレークダウンした課題毎の目標の設定、課題を解決するためのアプローチ方法、担当者、解決期限等、役割分担の明確化とPJ内での課題の共有化による源流化が重要である。

第1表は大阪生産技術センターが開発したPT (Process Technology) シートの例であり、プロセス開発に関する課題リストである。開発の初期段階

第1表 PTシート

D自製化 工業化研究検討項目					開発担当
工程	操作	課題	達成目標	検討方針・方法	結果
原料		回収Aの品質規格の決定	不純物の特定	連続実験回収マスの分析	GC-MSで分析済み
			反応成績への影響評価	実液および添加実験で影響度の確認	回収A使用で選択率約1%低下。低沸分、***、M成分を添加すると反応率低下。**処理では問題なし。
			リサイクルによる不純物蓄積量の確認	蓄積量計算	リサイクル試験では、**、水分の蓄積傾向なし。低沸成分、M成分は蓄積量計算
原料加熱	予熱器	材質の選定	材質の選定	材質試験実施	反応系の材質テスト(***℃)でC.S問題なし。反応系で***℃での確認試験を実施中。
		基本設計	熱回収システムの最適化	机上検討	基本設計完了
		基本設計	***焼却設備と一体化	メカ技術調査	メカエンジニアを実施。排ガス***濃度制御面より、**焼却排ガスで原料加熱する方式で採用可能。
反応	液相均一反応	**の処理法、腐食など	プロセス簡素化	連続実験で確認	不採用(固定床法より設備費高くなる)
反応	固定床反応	触媒のライブ試験	平均Conv.***% (****hr) ***% (****H)	連続実験で確認	LHSV=***では***H・Conv.***%を達成する可能。LHSV=***も実施。SV下げると劣化速度早くなN社で処理実施。**触媒は、N回再生品まで使用可能。
		触媒の再生処理検討	触媒の再生使用 (再生回数up)	触媒メカエンジニア、再生メカエンジニア依頼	
		反応条件	温度、圧力、水、**の影響	連続実験で確認	****: 温度、圧力は気相条件下で成績大きく低下、**添加で反応率低下。 Conv.***%/***℃では圧***KGの方が良い。
			LV、SVの影響	連続実験で確認	現行の範囲内ではLVの影響はない。***℃以上では劣化速度が速いため、今後はSVを下げて低温反応を検討する。
			液加の確認	連続実験、バックカクテットをもとにシミュレーションで確認	沸騰条件下ではUp Flowが優位。バックカクテットで、実機の1/2以下の流速では逆混合が発生する危険性があることがわかった。PSEでシミュレーション実施中。

で、過去の多くの技術情報をベースにPJメンバー間でプロセスを想定し、ブレンストーミング等によって課題を掘り起こすとともに目標や解決へのアプローチ手法を設定する。

以降、新たに発生した課題等を本シートに登録し、技術データベースとして一元的に管理、運用するとともに月次で進捗状況を管理する。設備、技術が完成した段階では、技術伝承の中心的な資料となる。

3. PM 指標

前記課題リストによって、何が解決し、どの課題が未解決で残っているかを掌握することができるが、実際のPJ運営においては、何千という全ての詳細課題の解決状況までを把握することはなかなか困難である。そこで、課題をマクロ的に捉えて定量化、見える化することを検討し、指標化した。第4図は、プロ

セス開発におけるPTシートで管理された課題件数と課題完了件数の推移を月次ベースで表したものであり、この数値を基に以下のように指標化した。

課題摘出率 = 課題件数 / 総課題件数

課題解決率 = 解決件数 / 課題件数

完成度 = 課題摘出率 × 課題解決率

総課題件数は、開発完了時点で確定する。途中段階では飽和カーブから予測した件数である。

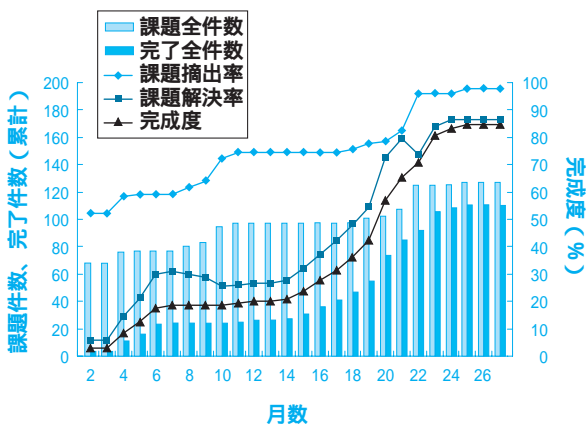
完成度は岩淵先生が提唱<sup>2)</sup>されたPQラインと呼ばれるもので、課題摘出度合いを織り込むことにより、右上がりのカーブとして絶対的な完成度合いを指標として表現することができる。

4. OZチャートの開発

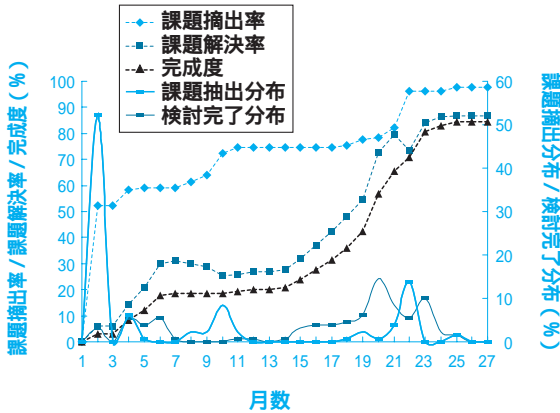
我々は、さらに課題摘出率、課題解決率を微分し、頻度分布で表現することによって課題摘出分布および課題解決分布に展開した。第5図はその一例で、このチャートをOZチャートと言う。

本事例におけるプロセス開発の源流化度(初期課題摘出率)は50%であり、課題の半分は先読みできたことを示している。残り半分については、PJの進展に合わせて走りながら考えたということになる。また、完成度は目標100%に向けて課題を着実にブレークスルーしていったことが読み取れる。このような指標によってCEの考え方をイメージ通りの数値で表現することが可能となり、PJ運営における目標管理は勿論、課題を確実に把握、管理することができるようになった。さらには、業務遂行方法の評価とともに、問題発生が予測される場合のリソースの再配分等、PJのダイナミックな進捗管理ツールとして活用できた。

第4図 プロセス開発における課題と対策分布



第5図 OZチャート



5. その他の課題抽出リスト

開発から工業化にかけて、前述のPTシート以外にも

- ・ CT (Construction Technology) シート
- ・ HT (HAZOP Technology) シート
- ・ OT (Operation Technology) シート

等、ジョブ毎に課題リストを作成し、源流化と課題の管理を行った。

CTシートでは基本設計、詳細設計、工事施工等に関する課題を体系的に整理して十分に事前検討することにより、澁みの無い起業工程の推進とともに追加変更工事や試製造における諸トラブルを極少化することができた。

HTシートは、基本設計がほぼ固まった段階でのEFD (Engineering Flow Diagram) をベースに、HAZOP手法を用いたプロセス全般のチェック&レビ

ユー結果を記入するものであり、ハード、ソフト両面から設計全般の問題を洗い出して課題を形成するためのシートである。この時点での完成度の高さで追加変更の多寡が支配されることになる。HTシートの時点では、問題の抽出とともに間髪を容れないコンカレントな問題の解決と方針の決定が重要である。

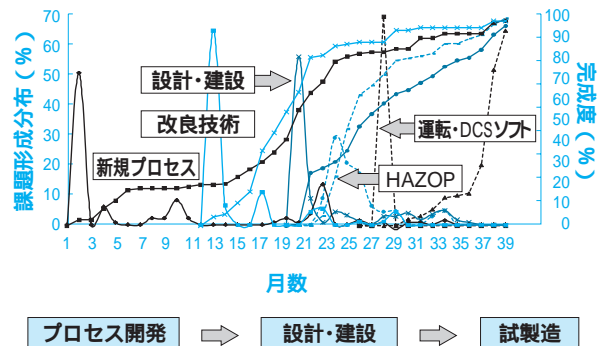
OTシートは、製造ソフトに関する課題リストであり、自動化におけるDCSソフトの構築、運転基準書の作成や教育訓練、試製造計画、ISO9000、14000システムへの対応等を包含するものである。(第2表)

6. OZチャートによるPJ運営の見える化

全ての課題とその解決状況を指標化してOZチャートにまとめることにより、PJ全体の進捗状況を見える化することができる。(第6図)

ダイナミックなPJ運営を行うことを目的としてOZチャートを作成するが、本事例では工程毎の源流化

第6図 OZチャートの事例



第2表 OTシートの事例

No.	検討課題		目標・手法・要領	検討状況・結果
	大項目	小項目		
I-1	製造技術基準 運転基準書	製造技術基準書	規定に基づいて製造標準を網羅	成検以降の技術成果を集大成し作成。
I-2		運転基準書体系	全基準書を体系化し明確化する	基準書/手順書体系作成完了
I-3		通常運転基準書	各工程別にDCS・SEQの流れに沿って自動制御/MAN操作相互関連	制御概要とSEQフローに基づいた基準書作成。SEQブロック構成図、制御ロジックをSet。
I-5	スタート・ストップ基準書 緊急処置基準書 トラブルシューティング手順書	スタート・ストップ基準書	DCS・SEQ工程別スタート・ストップ基準	スタートアッププログラム作成。
I-6		緊急処置基準書	停電、用役停止、火災、地震他	インターロックシステムをベースに基準書作成。
I-8		トラブルシューティング手順書	品質、能力、コスト、設備故障他	
II-1	HAZOP	HAZOP検討	保安・防災・操作・品質・コスト他	9/4 回答完了。加熱炉反応器見直し完了。
II-3		HAZOP指摘対応	改善項目をSEQ・基準書他反映	DCSが構築に合せ対応策折込み完了。
III-1	DCSソフト	全体SEQ構成、制御の考え方	全体構成、SEQ間関連系統図	SEQ全体構成図による基本構想作成。***連続工程スタート&ストップを含めた全システムの自動化。
III-2		工程別SEQブロックフロー	工程別詳細フローとその考え方	SEQブロック構成によるSEQ間関連の明確化。
III-3		SEQ P A D又はフローチャート	詳細工程	SEQフローチャート→サイン展開→SEQL変換
III-4		SEQ コパイル、デバッグ		SEQLチェッカー/デバッガー総合水運転チェック
III-5		インターロック関係 (SEQソフト)		ロジックチャート方式各工程別一括緊急停止可能。
III-6		高度制御関係	FF予測制御、Dynamic Monitoring	***加熱炉・反応器及び蒸留塔関係ダイナミックシミュレーションによる定常運転制御システムの最適化、及びスタート&ストップシミュレーションによる自動運転システムの構築。
III-7		スキマ全体画面構成と考え方	運転監視調整/SEQ進捗管理対話	画面展開、SEQ対話、解析データ表示他
III-8		スキマ画面作成	情報集中、操作性、監視性	基本画面/解析データ/画面展開の一体化
VI-1	技術基準書整備	成検資料技術考察参照	制御Simulation検討他	並行実施中。
VI-6		HAZOP O Tスタートでの課題体系的整理	HAZOP課題・対策一覧表	
VII-1	運転者教育訓練	教育訓練計画		運転基準作成/ソフト構築/相互教育
VII-2		製造技術基準、運転操作基準他全般	マニュアル作成等と連動させて教育	概要、基本設計、運転操作法、HAZOPフロー他第一次教育完了。



度が50～80%、製造開始前の完成度は95%であった。この水準は、29時間での垂直立上げや追加変更率0.4%の実績から考えれば、ベンチマーキングとしては十分に満足できるものと思われる。

7. スケジューリングシートによる工程管理

エンジニアリングおよび製造ソフト構築の一連の業務をWBS手法によって体系的に整理し、役割分担やスケジュールを明確化した。CS (Construction Technology Scheduling) シート、OS (Operation Technology Scheduling) シートを作製して管理するが、本シートでは業務毎に着手時期や所要工数を標準化することによって、完成期日を設定するだけで工程表を自動作製するシステムとしており、汎用的に適用できる。

さらに、これらの業務の進捗度を見える化する観点から、標準ソフトでグラフを自動生成、進捗線を書き入れることにより稲妻チャートに展開させた。(第7図)

これらの定量化、見える化により、PMのダイナミックな運営に留まらず、業務の効率化やメンバーの意欲の向上にも繋がった。

IT活用によるプロセス開発

新規製品プロセスの開発研究期間を短縮するには、可能な限り小さな装置、少ない実験数でプロセスを

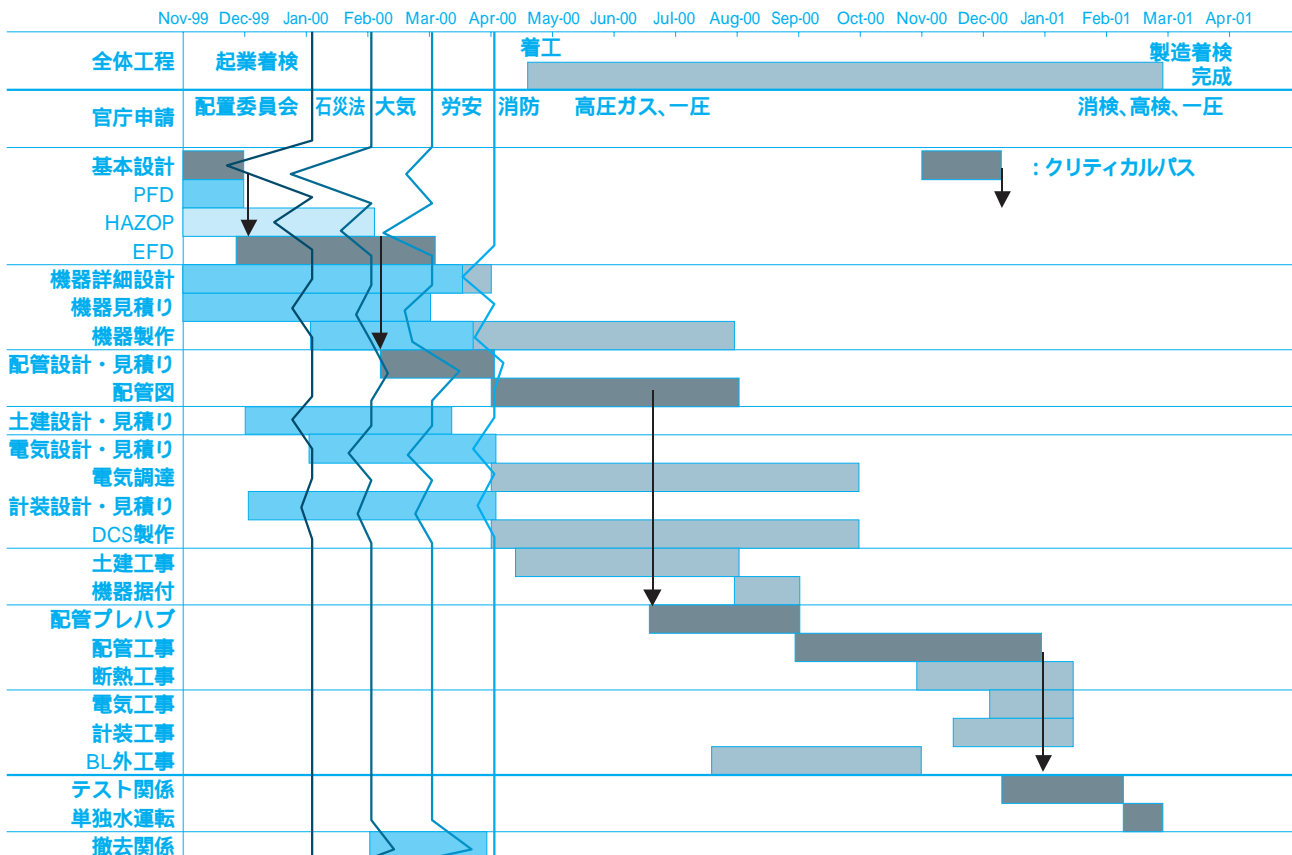
完成させることに尽きる。全く実験を行わずに、机上検討のみでプロセスを確立できるならば、それが目指すべき究極の姿である。しかし、実際にはプラントがうまく動いていない例を見ると、実験不足のために自然現象を見抜けていないことが多い。この自然現象と戦うには、「実験で確認しなければならないこと」、「実験で確認する必要がないこと」、「実験で確認できないこと」を開発初期の段階で明確にし、実験とシミュレーションをバランスよく組み合わせることでプロセス開発の精度を上げることが重要である。

今回我々がCE手法を適用したプロセスは、反応器と精留塔群から成立する連続プロセスである。成果として、反応器スケールアップ比17万倍を達成するとともに、連続プロセスのスタートアップで一般的に見られる後工程からの立上げではなく、最上流の反応からいきなり立上げていくドライスタートアップを実現した。これらの成果は、ITを活用してのバーチャルプラントを念頭においた研究開発と、そのためのPJメンバー間の情報共有化によるところが大きい。

1. バーチャルプラント

最終目標は「ちゃんと動くプロセス開発」であるが、過去の新設プラント立上げ時のトラブル事例として、プロセス制御がうまくいかなかった例も見受けられる。プロセス制御は、「実験で確認できないこと」の

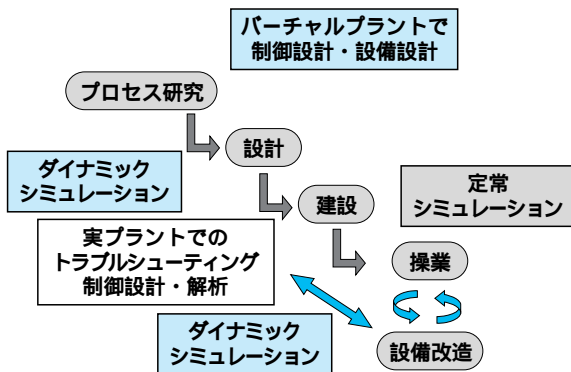
第7図 CSチャートによるスケジュール管理の事例



一つであり、これを解決するための手段としてダイナミックシミュレーター（以下DS）および3次元CADを活用し、バーチャルプラントの構築を行なった。

DSの適用は、第8図に示すように、今までは既設プラントの制御改善に用いられることが多く、新設プラントにおいて適用される例は稀である。これは、既設プラントでは既に装置があるため直接的に動特性を測定することができるが、新設プラントでは様々な条件を設定し計算する過程で、その前提条件が違つと全く違つた答えが出てくることによる。

第8図 工業化におけるDSの活用

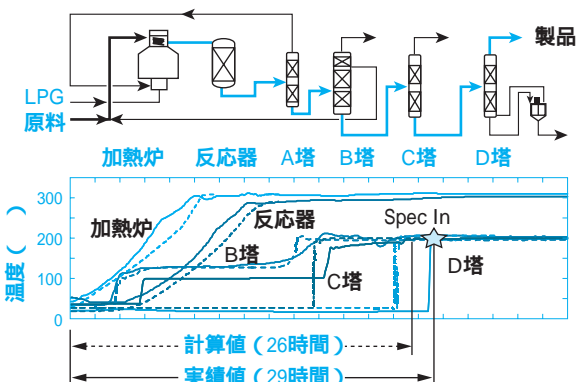


しかし、本PJではCE手法を用いた課題の形成と事前検討を十分に行なうことによって、幅広い角度から動特性の検証ができ、満足すべき結果を得ることができた。

代表的な成果は、第9図に示すように、シミュレーション26時間に対して実績29時間で連続プロセスを立上げることができたことである。他にもDSを用いたバーチャルプラント上では、実際にはできないような危険な条件や、ミスオペをした時の挙動等について予め机上で検討することもできる。このようにDSには色々な使い方があり、以下に示すような効果が確認できた。

- ・プロセスの非定常状態の再現と安全性評価
- ・制御系の設計とPID制御パラメータの事前選定

第9図 垂直立上げの実績



- ・運転トラブルの再現と原因究明
- ・トレーニングシミュレータとしての利用

もう一つ、バーチャルプラントに威力を発揮したのは3次元CADである。例えば管の長さや曲がり方等も3次元CADを用いると視覚的に理解できる。

それにより、ダイナミックシミュレーションで重要になる配管の溜まり量を把握したり、制御遅れや詰まりの起こる可能性を予知することができ、プロセスエンジニアがメカニカルエンジニアと共同で「ちゃんと動くプラント」を設計することが可能になる。その結果、完成後の不具合も激減し、追加変更工事を殆ど無くすることができた。

## 2. 電子ファイルを利用した情報の共有化

PJを円滑に遂行していくためには、情報の最新版管理と共有化が不可欠である。このPJではシート類や各種情報を電子ファイル化し、共通のサーバーで管理した。これにより、常に設計データの最新版管理ができ、またスムーズに部門間でのデータの受け渡しができた。

さらに、試製造において運転データをDCSからデータ収集システム(PI)に取り込むことにより、運転状況のタイムリーな解析および製造への的確なフィードバックが容易になり、多大なる成果を上げることができた。

現在はまだ工場内におけるデータの共有化に留めているが、社内工場間、さらには社外とも情報の共有化を進めていくことを検討している

## CE手法による成果

### 1. PJ(起業)目標の達成

並流化、源流化、技術力をキーワードにその実践的CE手法の開発と検証を同時に進めてきたが、その最大の成果は、対象PJの開発リードタイムが3.8年となり、25%短縮することができたことである。

その他、Q、C、D全ての起業目標値を完全に達成できた。特に、29時間一発ドライスタートは、当工場での立上げ最短記録を樹立した。(第3表)

第3表 PJ(D起業)の目標と評価

項目	BM	目標	成果	評価
開発リードタイム	5.2年	3.6年	3.8	
起業目標		Q・C・D	>目標	
エンジニアリング期間	17月	16月	15月	
立上げ期間	20日	15日	7日	
起業費削減		10%	16%	
設計変更(金額)	1%	0.5%以下	0.2%	
工事変更(金額)	1%	0.5%以下	0.1%	
初期故障件数	7件	3件以下	0件	

これらの成果は、プロセス・設備・人の総合的な成果であり、当然のことながらムダ・ロスの極小化によって15%以上の予算削減にも繋がった。

## 2. 定量化と可視化によるPMの指標化

PJ運営は往々にして担当者の感性に依存する部分が多く、過去には問題が生じて初めて認知する等の不手際も見受けられた。しかし、課題リストやOZチャートおよび稲妻チャート等による定量化、見える化によって随時、PJの全体を掌握してリアルタイムで軌道修正することが可能になり、PJ運営のダイナミズム化ができた。

## 3. 課題管理手法によるスタッフ部門の業務革新

開発初期の段階で課題を形成すること、および課題の共有化を通じて全体の中でのその課題の位置付けを認識し、自らマネージメントし解決することによって、責任意識の向上とも相俟って定量的な仕事の進め方が定着し、技術力強化のベースともなった。

課題形成力は技術力+創造力+経験則であり、源流化度によって仕事の進め方や技術力の自己評価も可能である。

源流化のB.M.としては、『課題形成率は新技術の場合50%、改良技術の場合70%。完成度は新技術の場合95%』が垂直立上げに繋げる一つのバロメーターとなることがわかった。

## 4. 課題の標準化と応用展開

PJの課題や手順を標準化したり体系化することは、その固有性、独自性のために本来困難であるとされてきたが、業務としての共通性を相当有していることもまた事実である。PT、CT、OTシートやOZチャート等によって標準化することにより、他のPJへの応用も十分可能となった。プロセス開発における化工単位操作別の標準化等も進めている。こうしたことによって、リソースを共通化できる分野から独創的な分野にシフトさせることも重要である。

## 5. 完成技術の伝承と教育効果

各シートによって纏められた課題は、途中段階では検討状況の進捗把握や方向付けに役立てられるが、完成後には体系化された技術・設計・運転の基本ソフトとして、そのまま技術伝承のベースとなる。また、設計者の発想、活動、成果が凝縮されることとなり、新たな事象への展開における教育的効果も大きい。

## 6. 高度技術の活用とバーチャルプラント構築

17万倍にスケールアップし、何の問題もなく垂直立上げができたが、その基盤技術である高度解析ツール等を駆使したモデリングとシミュレーターによるバーチャルなプラントの構築が、プロセス開発や機器設計だけでなく、オペレーションを確立していく途上でも極めて有効に機能することを再確認した。そして、化学プラントのプロセス開発の方向性が一層明確になった。

## おわりに

幸い、開発した実践的なCE手法により、モデルPJにおいて全ての面で目標を達成することができたが、本手法が如何なるPJに対してもその有効性を発揮できるか否かが重要である。経験則や標準化がPJ推進には本来成り立ち難いという観念を払拭するためにも、是非とも普遍的な体系とすべく一層の磨きを掛けて仕上げたい。そのためにも、数多くの起業での実践トライを通じ、起業パターンを幾つかに層別して標準化を推進するとともに、課題形成のモデル作りを根気よく継続していきたい。

## 引用文献

- 1) D. E. カーター「コンカレントエンジニアリング」JMAC (1992)
- 2) 「FF (フィードフォワード) プロセス革新手法」, JMAC (1995)

## PROFILE



尾崎 達也  
Tatsuya OZAKI  
住友化学工業株式会社  
愛媛工場



伊藤 孝徳  
Takanori ITOH  
住友化学工業株式会社  
生産技術センター