

SAFER リアルタイムシステムの紹介

(株)住化技術情報センター

半井 豊明

Introduction of SAFER Real-Time System

Sumika Technical Information Service Inc.

Toyoaki NAKARAI

In May 2003, SAFER Real-Time System was installed in Ehime Works of Sumitomo Chemical Co., Ltd., the first installation in Japan.

This software system is to monitor chemical process and to facilitate emergency response, in which real time meteorological data and gas sensor data are put in PC and their air dispersion simulation results under pre-determined scenario are shown on display in a form of map.

Plume which is caused by release of chemical substance is usually unseen. But under this SAFER Real-Time System, its location (snapshot) and state are displayed in color on screen, through which we are able to issue a warning to those who are down the wind by providing them with information on an approximate arrival time and concentration of such plume at a time of real accident or emergency drill.

はじめに

従来、わが国の防災計画は自然災害中心に立案されており、事故災害対策が「防災基本計画」で論じられるようになったのは比較的新しい。これは諸外国に比べ、事故災害に対して自然災害が多いことによるものと見られる。引き金となったのはロシア国籍のタンカーによる日本海沿岸地帯の原油汚染で、平成9年に海上災害対策、原子力災害対策、危険物等災害対策、鉄道災害対策等の8つの事故災害対策が「防災基本計画」¹⁾に追加された。

わが国では事故防止対策を徹底することで十分とされ、不幸にも事故が発生したとき被害を最小限にする適切な手法の検討は、「事故が発生しない」または「発生頻度が低い」との理由で、ともすれば軽視される傾向にある。一方、IT技術が急速に発展した結果、地理情報システム(GIS)、気象情報やガス検知器測定値のリアルタイム取得、画像情報の送付等が身近なものとなってきており、これらを有効に組み込んだ防災システムが海外では「緊急対処」に利用されている。

本稿は、住化技術情報センターが代理店となっているSAFER Systems社の「リアルタイムシステム」の機能を紹介し、併せてその背景を説明するものである。

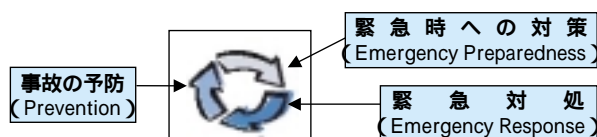
リオ地球環境サミット「アジェンダ21」および欧米の法規制改正等の動向

1992年6月、国連環境開発会議(通称「リオ地球環境サミット」)がリオデジャネイロで開催された。採択された「アジェンダ21」(21世紀に向けた行動計画)の19章では、有害化学物質の適正管理が7つのプログラム領域で取り上げられており、その中の「リスク管理Dプログラム領域」では、許容値以上のリスクの除去・削減を行なうため、リスク削減計画の策定が求められている²⁾。その一つに、わが国でも施行された環境汚染物質排出・移動届(2001年に施行されたPRTR法)の整備も見られるが、化学災害の予防と緊急対処の必要性も謳われている。

最近、OECDでは化学事故に対する指針を更新しており、インターネットでもダウンロードすることが

できる^{3),4)}。この指針の基本理念は第1図に示す「安全活動サイクル」に見られる。すなわち、事故およびニアミスを予防し、“事前の緊急時への対策”（「緊急計画」、「立地計画」、「周辺住民とのコミュニケーション」による想定される被害の軽減）を行い、事故が発生したときには被害を最小限にできるように“緊急対処”を行なうことにある。

第1図 安全活動サイクル



米国とEU加盟国では、1990年代後半～2000年代初旬にかけてプロセス安全法規制が大きく改正されたが、いずれの場合もリスクに基づいた安全管理に加えて「緊急対処計画 (Emergency Planning)」を提出すること等が必要となっている⁵⁾。また、米国の「緊急対処計画および地域住民の知る権利」に基づく化学産業の報告義務には、1) 緊急対処計画策定の報告、2) 有害物質放出事故の緊急対処の報告、3) 有害物質に関する報告、4) 有害物質の定期排出に関

第2図 改正プロセス安全法規とPRTR法との大気放出の比較



第1表 SAFER Systems社の主なソフトウェア

項目	TRACE	リアルタイム	
		Real-Time	STAR
対象	大気放出、火災・爆発	大気放出、火災・爆発	大気放出、火災・爆発
気象情報	手入力 (観測装置不要)	リアルタイム入力 (観測装置必要)	リアルタイム入力 (事故現場の気象情報が必要)
地図	地理情報システム プラント周辺等 GPS不要	地理情報システム プラント周辺等 GPS不要	地理情報システム 輸送経路の地図 GPS必要、事故現場の位置決め
システム	スタンドアローン	ネットワーク	ネットワーク

する報告等が見られる⁶⁾。

第2図に欧米の改正プロセス安全法規およびPRTR法での大気放出の比較を示す。PRTR法では主としてかなり長時間にわたる低濃度の放出を対象としているのに対し、改正プロセス安全法規では高濃度だが比較的短い時間の事象を対象とするものであり、「化学災害の緊急対処ツール」の対象域と一致している。

化学災害とSAFER システムズ

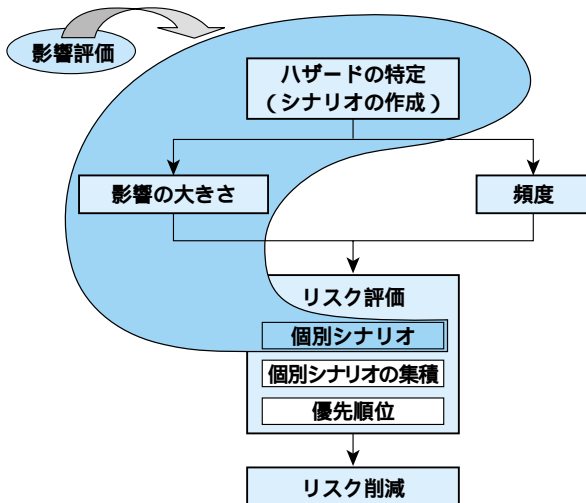
米国SAFER Systems社はソフトウェア会社として1978年に設立され、インドのボパール事故(1984年)が全米にテレビ放映されたときに開発していたソフトウェアが注目を集めることとなった。同社は影響評価ツールの草分けとも言える会社であり、最新のIT技術が取り込まれ、緊急対処機能を強化したシステムを市販するに至った。メニュー画面に沿って簡単に動かすことができるので、7か国語に翻訳され世界の数多くの化学工場で利用されている。

1. SAFER システムズ

市販されている主なSAFER システムズは、第1表に示すように、「TRACE」、「Real-Time」、「STAR」の3種類に分類される。「TRACE」は、主としてスタンドアローンで用いられており気象情報は手入力される。「Real-Time」および「STAR」は、気象情報をリアルタイムで利用しており「リアルタイムシステム」と呼ばれている。前者は工場等の固定施設用であり、後者は化学品の輸送災害用のシステムとして化学災害の発生が懸念される広い輸送経路を対象としている。

化学物質のフィジカルなリスク評価は、HAZOP、What if等により特定されたハザードの「影響の大きさ」と「頻度」を求めて行われるが、SAFER システムズはこのなかで「影響の大きさ」を予測するものである。具体的には、大気放出、火災・爆発の影響評価ツールとして、第3図の実線で囲われた左側の部分で利用することができる。

第3図 定量的リスク評価と影響評価

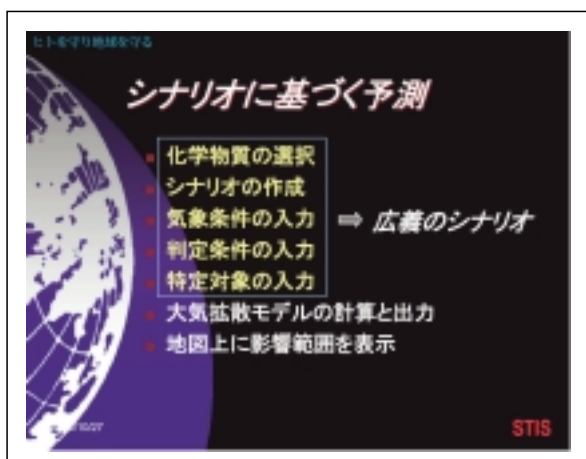


2. “解析ツール”と“緊急対処ツール”

最近、わが国でも化学災害に対するTRACEタイプの“解析ツール”が普及してきており、想定されたシナリオに基づく予測が、災害の事前および事後評価に利用されている。シナリオ（広義）とは、第4図に示すように、通常は化学物質、シナリオ、気象条件、判定値および特定対象からなる。

化学物質の特定により各種の特性値がモデル式の計算に利用できる。シナリオは、配管の穴から漏れが発生した等の具体的想定であり、気象条件は、風力、風向、気温、湿度、日射量（大気安定度¹）で入力される。判定条件は、大気放出、火災・爆発による影響の閾値であり、大気放出の例として米国産業衛生協会によるERPG（緊急対処計画指針）を第2表

第4図 シナリオに基づく予測



¹大気安定度は「TRACE」で手入力されるが「リアルタイムシステム」では自動入力される。これは、日射量、風力等からA-Fの6段階で決定され、Fが最も安定でAが最も不安定な状態を示す。

に示す。これは3種類の基準（アンモニアの例；ERPG-1, 2, 3は25, 150, 750ppmに相当）から構成されているので、地図上で被災の懸念される領域をそれぞれ別の色で表示する。また、特定対象とは、プロセス計器室、関連企業の施設、研究所、病院、学校等のような、大気放出の影響を受ける施設を示している。

第2表 大気放出の判定条件ERPGについて

毒性基準	組織	対象	暴露時間	記述
ERPG-1	AIHA	ヒトの一般集団	60min	1時間の暴露で、一時的なヒトの健康への悪影響の見られない最高濃度
ERPG-2				1時間の暴露で、恒久的なヒトの健康への著しい悪影響が見られない最高濃度
ERPG-3				1時間の暴露で、ヒトの健康への恒久的な悪影響が見られるが、致死には至らない最高濃度

ERPG：米国産業衛生協会による緊急対処計画指針

一方、“緊急対処ツール”では、“解析ツール”に加えて長年の経験に基づいた「緊急対処機能」が強化されており、その例として“クイックリスポンス（Quick Response）”や“バックカリキュレーション（Back Calculation）”が挙げられる。

SAFER Systems社の「リアルタイムシステム」

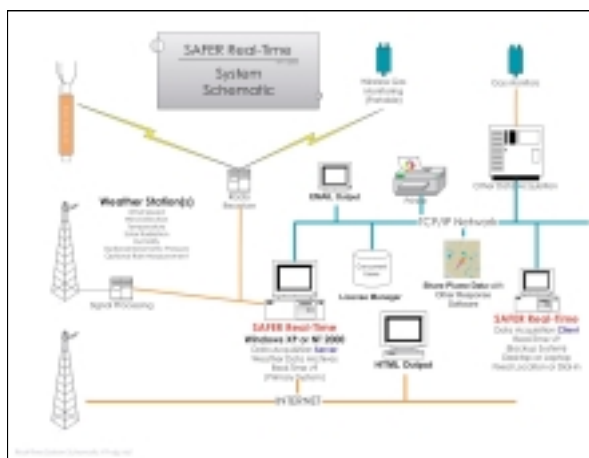
1. 「リアルタイムシステム」のシステム構成

「リアルタイムシステム」は、リアルタイムに取り込んだ気象情報を利用するものであり、簡易的には「カーナビゲーション（地理情報システム+衛星利用測位システム）、インターネット（気象情報）およびシミュレーションモデルの統合システム」と表現できる。

これは、第5図にその構成概要を示すネットワークシステムで、左側に見られる気象情報に加えて右上のガス検知器測定値もリアルタイムで取得でき、大気拡散の影響を地図上に表示するものである。本システムにおいては、ソフトウェアをインストールするPC、その周辺機器および気象観測装置が最低一台必要である。さらに、ガス検知器やバックアップ用PCの設置が推奨される。その他の各種のインターフェースについては希望に応じてカスタマイズすることができる。

PCは、Windows XP（プロフェッショナル）の日本語版を利用し、モニター画面については19インチ以上が望ましい。SAFER社が推奨する「リアルタイムシステム」のPCの仕様を次に示す。

第5図 「リアルタイムシステム」のシステム構成概要



- (1) OS : Windows XP (プロフェッショナル)
- (2) CPU : 1GHz 以上 (2GHz 以上が好ましい)
- (3) RAM メモリー : 256MB 以上、好ましくは 512MB
- (4) ハードディスク : 20GB 以上
- (5) ハードディスクの空きスペース : 500MB 以上
- (6) その他
 - ・ CD-ROM ドライブの使えること
 - ・ 19 インチモニターを推奨
 - ・ TCP/IP ネットワークプロトコルが使えること

2. 「リアルタイムシステム」の機能

一般的に、大気放出された化学物質を視認することは困難であるが、「リアルタイムシステム」は大気拡散モデルのシミュレーション結果を用いてブルームを地図上に表示することができる。第6図に主な機能を示し具体的な内容を以下に述べる。

第6図 「リアルタイムシステム」の主な機能



- ① 予め作成されたシナリオの利用および更新
通常、「リアルタイムシステム」では予め作成され

たシナリオをまず立ち上げ、構成要素である放出場所等を更新して対処する。シナリオを新規に作成することもできるが、既に作成されたシナリオをメイン画面左上にあるメニューに沿って更新する方がより簡便である。つづいて、シミュレーション開始ボタンをクリックすれば更新したシナリオによる予測結果が地図上に反映される。化学災害に迅速に対処するためシナリオを準備しておくだけでは不十分なためである。

また、更新シナリオが自動保存されない「訓練モード」に設定すると、一種の“解析ツール”として災害の事前・事後の状況を検討することができる。「緊急対処モード」では更新シナリオがすべて自動保存されるので、事故終了後にどのように対処したかを詳細に調べることができる。

② リアルタイムデータの取得

「リアルタイムシステム」では気象情報およびガス検知器測定値をリアルタイムで取り込むことができる。リアルタイムの気象情報はシステムを動かすには必須事項であり、気象観測点は直径10kmに一か所程度で設置されている。ガス検知器の測定値取り込みは選択事項であるが、一つのプラントで数十か所から多いものでは100か所以上を利用している場合もある。ガス検知器の情報は、測定値から放出量を予測する“バックカリキュレーション”に用いたり、一定濃度を越えたときに警報を発するために利用される。

③ “クイックリスポンス”による緊急連絡

化学災害では「時間が勝負」であり、関係者に事態をすばやく緊急連絡することが重要となる。“クイックリスポンス”機能は、シナリオを用いずに、地図とリアルタイムの気象情報から被災する可能性のある地域に初期警報を発するものである。

具体的には、「事故発生場所」を地図上で特定してコリドー²（大気放出により影響を受ける風下の扇状の領域）を自動作成し、影響を受ける特定対象（予め位置を入力したプロセス計器室、学校、病院等）の連絡先等のデータをモニター画面上に表示する。状況を示すレポートが簡単に作成できるので、ファックス、電話、Eメール、防災無線、CATV等による緊急連絡にも利用することができる。この作業は、「いつ」、「どこで」等の限られた情報しか入って来ない事故発生直後でも、権限を有する者なら簡単に利用することができる。

² 事故発生源と、そこから1km風下の地点で、風下中心軸に対し直角に $2.14 \cdot y \cdot y$; Pasquill-Giffordのチャートから決定された拡散パラメータとなる点（大気中濃度がほぼ中心線上の1/100）を結んだ扇状領域。

本システムは、化学物質の大気放出だけでなく火災・爆発にも利用できる。有効な「緊急対処」には事故を察知したのち一定時間が必要なので、事故発生後に極めて短時間で火災・爆発が発生する事例への適用はある程度制限を受けることとなる。大気放出後に着火源からの火災・爆発が懸念されるときには、緊急対処ツール（例；着火源となる自動車の交通規制等）として利用することができる。

④ “バックカリキュレーション”による大気放出量の予測⁷⁾

この種の“緊急対処ツール”には、ガス検知器による測定値が瞬時にシステムに反映され、事故発生を確実に把握できることが望ましい。「リアルタイムシステム」では、ガス検知器の測定値、位置（緯度・経度）および測定時間を入力し地理情報システムと統合できるので、固定式ガス検知器だけでなく、手動または車載による移動式ガス検知器も利用することができる。

“バックカリキュレーション”では漏洩流量を逆算するのに5種類のデータを使っている。即ち、ガス検知器の測定値、気象情報、漏洩位置、漏洩開始時刻および大気拡散モデルによる予測値である。ガス検知器の位置がコリドー内でない場合、測定時刻が明らかに不適切な場合ではデータは利用されず、適切な測定値のみが取込まれる。漏洩流量の逆算は試行計算に基づいて行なわれる。各センサー位置に対して漏洩流量を変化させ、大気拡散モデルから予測される濃度時間曲線と実測値とを比較する。作動したセンサー全てにおいて収束判定範囲内で両者が一致した場合の漏洩量が求める値となる。この収束計算には、時間収束ループおよび濃度収束ループの2つのループが存在する。予測結果の検証は米国のローレンスリバモア国立研究所の野外実験に基づいて行われた。

⑤ “地理情報システム”による市販道路地図および市街地図の利用

地図のデジタル化は目覚しく1/25,000の地図情報も2003年4月から国土地理院のホームページでダウンロードできるようになった。防災システムでは、事故発生場所およびその影響範囲を容易に視認できることが重要な要素となるので、デジタル化された地図情報が役に立つ。大気拡散モデル等によるシミュレーション結果を地図上に表示するとき、市販地図情報では工場内の設備位置情報が不十分なので、通常は、衛星写真（または航空写真）を重ねて投影して利用する。

具体的には、例えば、大阪府の道路地図（1/25,000）大阪市の市街地図（1/2,500）を地図会社（ゼンリン、昭栄社、アルプス社等）から購入し、データを

ESRI社³⁾のファイル形式（SHPファイル）に変換する。一方、工場施設の衛星写真を別途購入し、上記の地図上に重ね書きする。通常、衛星写真には緯度・経度情報が含まれており、地図を繋いでカバー領域を容易に拡大することができる。さらに必要な場合には、CADデータ（DWGファイル、DNGファイル）を投影することができる。シミュレーション結果は、自動的に最適と見られる大きさになり画面上に表示される。大気放出では地図上をクリックすることによりグラフが現れ、その場所へのブルームの到達時間、滞在する時間、および室内外の濃度等を予測することができる。特定対象は、テーマリストを使って階層ごと（計器室、病院、学校等）に地図上に表示でき、必要とされる個別データを記録することができる。

一方、3次元の複雑な地形情報を利用するときには、ランドサット衛星等を用いて作成された市販の標高データを上記の平面地形情報に重ね書きすることが必要となる。第7図にメイン画面上でのブルーム表示例を示す。この画面では複雑地形図が用いられており、中心部のやや下側に見える丘に沿ってブルームが曲がっていることがわかる。

第7図 メイン画面地図上へのブルームの表示



⑥ 気象観測装置および気象情報の利用

「リアルタイムシステム」では、気象情報として風速、風向、気温、湿度、日射量の5項目が必要である。通常、気象情報は3秒に1回取得され、その5分平均値が記録され「リアルタイムシステム」のデータベースに保存される。したがって、保存期間の風配図を必要に応じて表示することができる。対象となる化学プロセスにおける風向と風速の出現率がわかり、特定時刻の風速・風向も表示することができるので、

³⁾ESRI社(米国)のGISソフトウェアの世界市場占有率(2000年)は、Daratech社の調査結果によると36%である。

周辺住民から臭気等のクレームが生じたときには適切な対処ができる。さらに、複数の気象観測点を組み合わせ、ウィンドフィールドを形成してブルームの動向を監視することもできる。

気象観測装置を新設するときは、All Weather 社の Q-Net システムや国産の気象観測装置を利用できる。既存の気象観測装置を利用するときは、例えば PI システム⁴ 等のようなプラント情報管理システムで管理されている場合、インターフェースを通じてリアルタイム気象情報を「リアルタイムシステム」に取り込むことができる。

インターネットで「アメダス (AMeDAS)」の気象情報を利用するときには、(財)気象業務支援センターから、地方版気象情報配信サービス (L-ADeSS) 用の受信ボックス等を購入し、さらに「リアルタイムシステム」とのインターフェースを準備することが必要となる。しかしながら、現状では1時間ごとの時報直後の10分間平均の風速・風向データしか送信されておらず、安定した気象条件下では利用できる可能性があるものの、「リアルタイムシステム」の気象情報源として十分ではない。

移動式の気象観測装置の例として、All Weather 社から市販されている「TAMS」(携帯用自動気象観測装置)が挙げられる。化学品の輸送災害が発生した場合には事故現場に設置され、近くにある車載の「リアルタイムシステム」まで気象情報を無線送信する。

「リアルタイムシステム」の利用例

本システムはネットワークシステムであるため、一つの化学プロセスだけでなく「複数の施設を監視するシステム」として利用することができる。特に米国系の国際企業では、コーポレートシステムとして利用しているようである。広域的に鉄道で利用されている例を次に示すこととする。

北米の大陸横断鉄道では多量の化学品が輸送され、脱線によるタンク貨車の火災・爆発、大気放出が発生している。その例として、1996年3月に発生した米国ウィスコンシン州 Weyauwega 中心部でのLPGタンク貨車の事故⁸⁾、4月のモンタナ州 Aberton での塩素等を積載したタンク貨車の事故⁸⁾、2000年5月のルイジアナ州 Eunice の各種化学品を積載したタンク貨車の事故⁹⁾、2001年2月、カナダのアルバータ州 Red Deer で発生したアンモニア積載タンク貨車の事

故¹⁰⁾が挙げられる。SAFER Systems 社は、BNSF 社の依頼に基づいて化学品の輸送災害用の「STAR」システムを共同開発したが、現在、大陸横断鉄道6社で利用されている。

ウィスコンシン州での鉄道事故にSAFER リアルタイムが利用された状況は、文献8に見られる。タンク貨車6台が火を噴き、続く8台を含めLPG675トンの火災・爆発の可能性があり、付近にある液体アンモニアタンクへの影響が懸念されていた。「リアルタイムシステム」を用いて爆発と有害物質の影響を予測し、14日間にわたり消火隊等を現場で支援したことが記載されている。

おわりに

愛媛工場でSAFER リアルタイムが稼働し始めて約5か月経過したがまだ短期間であるため、本稿ではシステムの概要を紹介するにとどめ、具体的な利用状況については触れなかった。日本初の導入に際し、住友化学工業と住化技術情報センターで打ち合わせを重ね、SAFER 社のチェックリストに基づき問題点を詰めた上で担当エンジニアが来日した。

本システムは世界中の化学プロセス約150か所に設置されており、東アジア地区においては台湾、韓国、マレーシア、シンガポールに次いで日本は5番目の導入である。化学産業の国別出荷額では、米国に続き2位である日本が遅れた理由として、「化学プロセス監視用の緊急対処システム」を必要とする海外で見られた化学災害が過去に発生していないこと、日本語化ができていない等の理由が考えられる。後者については、2003年末までに、画面およびマニュアルの日本語化が完了する予定である。

最後に、本稿で紹介した「リアルタイムシステム」は、住友化学工業(株)の愛媛工場(生産企画部、環境安全部)および生産技術センター(愛媛プロセスグループ、プロセスシステムグループ)の協力を得て設置されたものであることを述べさせていただきたい。

引用文献

- 1)平成10年版 防災白書, 旧国土庁編, P22
- 2)辻 信一: 最近の国際動向とわが国の化審法改正, 化学経済 2003年9月号
- 3)OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response *Guidance for Industry (including Management and Labour), Public Authorities, Communities and other Stakeholders,*
- 4)http://www1.oecd.org/scripts/ehs/guiding

⁴OSIsoft社(米)のプラント情報管理システム。DCS等からリアルタイムでプラントデータを収集し、アプリケーションへのインフラを提供している。日本では横河情報システムズ(株)が販売代理店。

principles/index.asp

- 5) 平石 次郎等訳：リスクアセスメントハンドブック、丸善、1998、P303
- 6) 東京海上火災保険株式会社：環境リスクと環境法（米国編）有斐閣、1992、P216-236
- 7) S. K. Najafi, E. Gilbert (SAFER System, USA): Use of Real-Time Measurements for Estimating Release Rate, IChemE Symposium Series (Hazard XII : Process Safety - Fulfilling our Respon-

sibilities), Manchester, UK, March 24 - 27, 2003

- 8) Predicting the effects of an Explosion and Toxic Release, The Industrial Emergency Journal, Vol.2, No.2, July/Aug., 1997
- 9) Thousands Flee Chemical Rail Accident, C&EN June 5, 2000, P14
- 10) http://www.freenet.edmonton.ab.ca/disaster/cpr_files/frame.htm

PROFILE



半井 豊明

Toyoaki NAKARAI

株式会社住化技術情報センター

