

公開用

# 終了報告書

S I P（戦略的イノベーション創造プログラム）

課題名 「エネルギーキャリア」

研究開発テーマ名 「エネルギーキャリアの安全性評価研究」

研究題目 「エネルギーキャリアに関するステーションとその周辺に対する

リスク評価手法開発と社会受容性調査」

研究開発期間：平成 26 年 9 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

研究担当者：恒見 清孝

所属研究機関：国立研究開発法人産業技術総合研究所

## 目次

1. 本研究の目的	1
2. 研究開発目標とマイルストーン	1
3. 研究開発実施内容	3
3-1. フィジカルハザード評価指針の作成	
3-2. 急性健康影響に関する有害性評価指針 Ver. 1.0 の作成	
3-3. 急性曝露推定ツールの構築	
3-4. 10m メッシュの解像度を持つ建物・人口・ステーション立地データベースの作成	
3-5. エネルギーキャリアのリスク定量化およびリスク比較手法の確立	
3-6. リスク評価書作成	
3-7. エネルギーキャリアのリスク認知特性および社会受容性に関するデータ集の作成	
3-8. まとめ	
3-9. 今後の課題	
4. 外部発表実績	28
5. 特許出願実績	31
6. 参考文献	31

## 図表一覧

- 図 3-1-1 全体的な評価手順の流れ
- 図 3-1-2 水素ステーション周辺建物情報の取込み
- 図 3-3-1 急性影響評価ツール Ver. 0.94β での推定の全体的な流れ
- 図 3-3-2 急性影響評価ツール Ver. 0.94β の条件設定画面
- 図 3-3-3 漏洩時間別の大気中濃度分布と有害影響を生じる範囲
- 図 3-4-1 関東 4 都県（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県）における建物・人口の曝露データ作成地域
- 図 3-5-1 水素エネルギーキャリアのリスク評価の枠組み
- 図 3-5-2 スクリーニング評価・リスク評価の位置づけ
- 図 3-6-1 ベイズ推定による機器ごとの漏洩頻度推定結果例
- 図 3-6-2 爆風ピーク過圧計算例：人口密集地帯
- 図 3-6-3 スクリーニング評価による各事故シナリオの個人リスク最大値
- 図 3-6-4 リスク評価による事故シナリオ別の着火源からの距離と個人リスクの関係

図 3－7－1 リスク情報・安全対策情報の提供有無が受容性にもたらす効果の測定

- 表 3－2－1 急性健康影響に関する有害性評価指針 Ver. 1.0 の構成
- 表 3－2－2 評価対象とする急性のヒト健康影響
- 表 3－2－3 各種基準値およびガイドライン値で扱われる保護対象と曝露時間
- 表 3－2－4 既存情報に対する Klimisch の信頼性基準
- 表 3－2－5 MCH の急性の吸入影響に対するヒト無毒性濃度（単位：ppm）
- 表 3－3－1 化学物質に関するパラメータ
- 表 3－3－2 貯蔵、漏洩および揮発に関するパラメータ
- 表 3－3－3 地形、気象等に関するパラメータ
- 表 3－3－4 計算範囲及び条件に関するパラメータ
- 表 3－3－5 急性影響評価ツール Ver. 0.948 で使用するモデルと拡散幅計算式
- 表 3－4－1 10m メッシュの建物棟数と建物内人口作成方法

## 1. 本研究の目的

化学物質のヒト健康、生物に対する慢性影響のリスク評価手法はすでに確立されているが、急性影響のリスク評価手法や、事故に対するリスク評価手法は確立されていない。特に、事故のシナリオ設定や事故発生確率の検討が進んでいないために、事故のリスク評価の事例は国内外でほとんどない。よって、水素エネルギー・キャリアのリスク評価を実行するため、上記の課題について新たな手法を開発する。

具体的には、事故シナリオ、暴露シナリオ、被害・リスク推定からなる一気通貫したリスク評価を実施する。暴露シナリオでは、爆発による周辺への影響と、化学物質漏洩による周辺への影響を推定するとともに、脆弱性として爆風圧や有害化学物質漏洩によるヒトへの有害性を推定し、被害関数を確立する。被害・リスク評価手法を確立するとともに、爆発によるリスクと化学物質漏洩によるリスクの統合評価を実施する。また、そのリスクデータにもとづくエネルギー・キャリアの社会受容性の調査を行う。

## 2. 研究開発目標とマイルストーン

### 2-1. 研究開発目標

- ・ フィジカルハザード評価指針の作成
- ・ 急性暴露推定ツール構築、有害性評価指針の作成
- ・ 10m メッシュの解像度を持つ建物・人口・ステーション立地データベースの作成
- ・ エネルギー・キャリアのリスク定量化およびリスク比較手法の確立
- ・ リスク評価書作成
- ・ エネルギー・キャリアのリスク認知特性および社会受容性に関するデータ集の作成

### 2-2. マイルストーン

#### (1) 初年度(H27.3)

- ・ 発生確率解析：一般的なプラント等の国外事故データを用いた発生確率解析
- ・ ハザード評価：爆風圧による人体影響の既存情報整理、メチルシクロヘキサンの慢性暴露の暫定評価
- ・ 脆弱性推定：メチルシクロヘキサンの既存慢性有害性情報データベース作成
- ・ 暴露データ構築：東京 23 区、横浜、川崎の暴露データ作成
- ・ 被害・リスク評価：リスク評価枠組み確立
- ・ 安全要件の検討：社会受容性に関する既存情報整理

#### (2) 2 年度(H28.3)

- ・ 発生確率解析：水素ステーションの事故発生確率のベイズ推定
- ・ 排出量推定：定常的な排出に関する排出量推定手法の確立
- ・ ハザード評価：トルエンの慢性暴露の暫定評価
- ・ 脆弱性推定：トルエンの既存急性有害性情報データベース作成、爆風圧による人体影響の既存情報データベース作成
- ・ 暴露データ構築：東京 23 区、横浜、川崎の暴露データ精査

- ・被害・リスク評価：QOL 調査による QOL 重み付け係数決定
  - ・安全要件の検討：社会受容性調査枠組み確立
- (3) 3年度(H29.3)
- ・発生確率解析：一般的な化学プラントの安全性解析
  - ・ハザード評価：爆風による被害関数確立と爆風による実規模フィジカルハザード評価、急性暴露推定ツールのプロトタイプ構築
  - ・脆弱性推定：アンモニアの既存有害性情報データベース作成、爆風圧によるヒトへの被害関数の確立
  - ・暴露データ構築：輸送も含めた千葉市等の暴露データ作成
  - ・被害・リスク評価：各キャリアのスクリーニングリスク評価、リスク比較
  - ・安全要件の検討：定性データによる社会受容性調査
- (4) 4年度(H30.3)
- ・発生確率解析：水素ステーション特有の事象のイベントツリー解析
  - ・ハザード評価：有機ハイドライドフィジカルハザード評価、水素ステーション立地を考慮した急性暴露評価
  - ・脆弱性推定：エネキャリ物質の被害関数確立
  - ・被害・リスク評価：関東主要地域の水素ステーション周辺の被害推定、事故確率推定にもとづくリスク評価、QALYs によるリスク定量化
  - ・安全要件の検討：リスクデータによる社会受容性調査
- (5) 5年度(H31.3)
- ・発生確率解析：現実的な水素ステーションの事故データを用いたベイズ推論による不確実性幅の評価
  - ・ハザード評価：有機ハイドライドの漏出事故に伴うフィジカルハザード評価指針作成、急性暴露推定ツールの汎用タイプ構築、有害性評価指針作成
  - ・被害・リスク評価：リスク評価書暫定版作成
  - ・安全要件の検討：リスク認知特性および社会受容性に関するデータ集作成

### 3. 研究実施内容

#### 3-1. フィジカルハザード評価指針の作成

各種漏洩・着火シナリオに基づき、漏洩時間に応じて形成される水素濃度場を評価し、さらに着火によるその後の爆風伝播影響評価、火炎影響評価を実施するための技術的な評価手順についてとりまとめた。数値シミュレーションでは想定する漏洩条件や規模、注目する現象等に対して適用する物理モデルや離散化手法、計算手法、メッシュなどを検討し最適化する必要があるが、本手順書では、本研究で適用した汎用の流体解析ソフトを例に、評価において実際に適用した空間モデル、計算メッシュ、漏洩モデルや乱流モデル・燃焼モデル、境界条件、計測点などに関する設定方法・設定値について具体的な解説を行った。今回の評価において適用した全体的な手順の流れをフロー図として図3-1-1に示す。

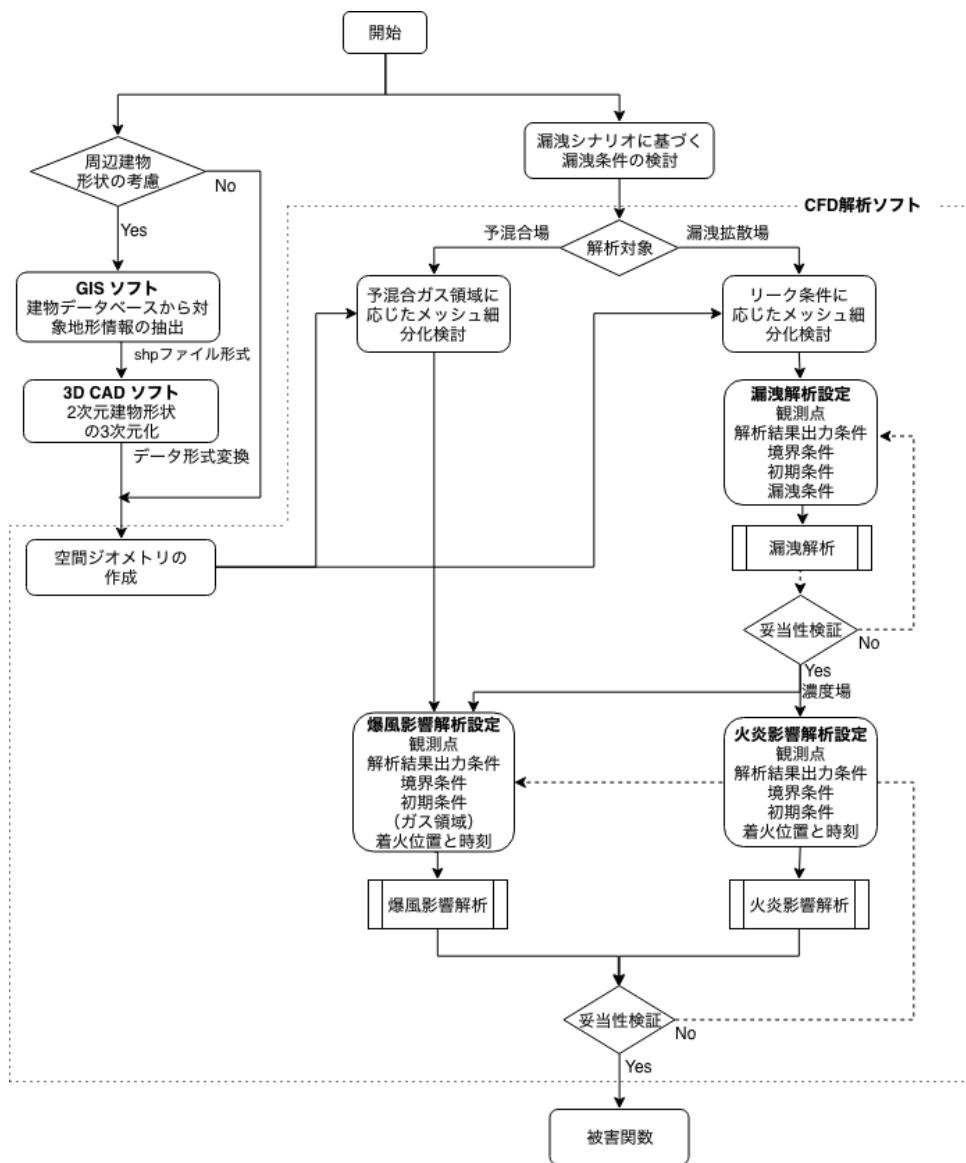


図3-1-1 全体的な評価手順の流れ

スクリーニング評価における空間モデルでは、水素ステーション周辺に配置する既存の建物情報として住宅地図データベースをもとにした建物形状の3次元形状化、3次元化した形状の数値シミュレーションソフトへの取り込み手順（図3－1－2）について解説した。数値シミュレーション評価結果については直接的に比較検討可能な実計測データがないため、その妥当性の検証方法について解説を行った。評価した爆風圧、輻射熱等のデータは脆弱性評価で利用する被害関数の入力値となり、最終的にはリスク評価におけるヒト影響の重大性分布、リスク分布としてメッシュ状の分布図となるため、これに必要となるデータの出力までの処理手順を解説した。

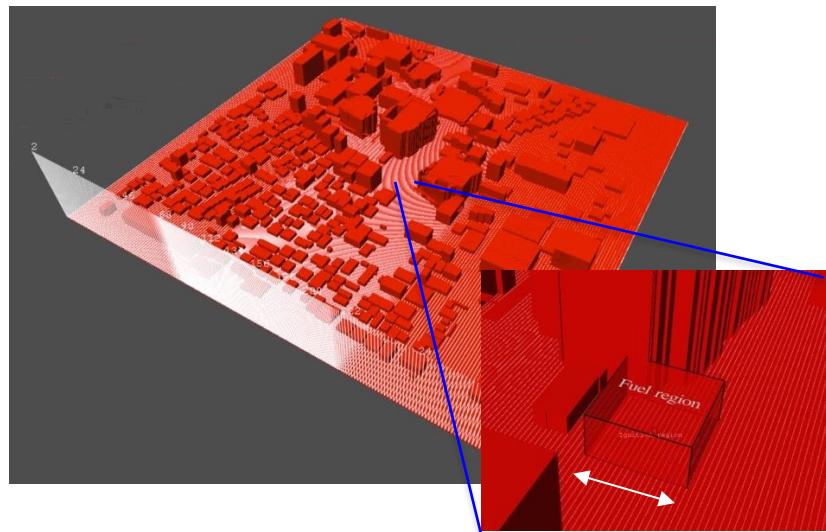


図3－1－2 水素ステーション周辺建物情報の取り込み  
(人口密集地帯モデル、爆風伝播シミュレーション解析事例)

### 3－2. 急性健康影響に関する有害性評価指針 Ver. 1.0 の作成

#### (1) はじめに

本「急性健康影響に関する有害性評価指針 Ver. 1.0」は、水素キャリアである有機ハイドライド等の化学物質の急性健康影響リスクを評価する過程で実施する「有害性評価」に関する指針であり、化学物質を吸入することによりヒトに生じる可能性がある急性健康影響の確認とその有害影響の閾値（ヒト無毒性濃度、NOAEL）の導出について解説している。

#### (2) 指針の構成

本評価指針の構成は表3－2－1に示すようになっている。

表3－2－1 急性健康影響に関する有害性評価指針 Ver. 1.0 の構成

章	ページ	内容
目次	i ~ iii	
1. はじめに	1~2	本指針の位置づけと有害性評価の基本的な流れについて記載している。
2. 前提と基本的な考え方	3~4	評価対象とする「軽微」、「重篤」および「致死」の3種の急性影響の定義、これらの重篤度が異なる急性影響のヒト無毒性濃度を導出する際の曝露時間（10分～8時間）について解説し、さらに濃度（ppmとmg/m <sup>3</sup> ）の換算方法を記載している。
3. 既存のデータベース	5~10	アクセスが可能な米国研究評議会、米国工業衛生協会、米国エネルギー省、米国国防総省、米国国立労働安全衛生研究所、米国労働安全衛生局、米国産業衛生専門家会議、英国安全衛生庁および日本産業衛生学会の急性影響のヒト無毒性濃度データベースを紹介し、これらのデータベースから既存のデータを選択する際の基準等について解説している。
4. 急性吸入毒性試験法	11~12	急性吸入毒性試験を行う際に用いられる最も一般的な試験法であるOECD TG403について試験法の概要、観察項目、報告内容について記載している。
5. ヒト無毒性濃度の導出手順	13~23	「軽微」、「重篤」および「致死」の3種の急性影響のヒト無毒性濃度の導出する際にキースタディとする動物試験等の選択、試験結果をヒトに外挿する際に用いる不確実係数、異なる曝露時間への無毒性濃度の外挿に用いる時間スケーリング、生理学的薬物動力学（PBPK）モデルおよび導出した無毒性濃度等の数値の丸め方について解説している。
6. ヒト無毒性濃度の導出の事例	24~34	5. で解説した手順に従って、トルエンとメチルシクロヘキサンについて「軽微」、「重篤」および「致死」の3種の急性影響のヒト無毒性濃度を導出した事例を解説している。
参考文献	35~36	

### （3）評価対象とするヒト急性健康影響

本評価指針で評価対象とする有害なヒト急性健康影響は、表3－2－2で定義される「軽微な影響」、「重篤な影響」および「致死」の吸入急性影響である。

表3－2－2 評価対象とする急性のヒト健康影響

影響の種類	定 義
軽微な影響	影響に敏感な人も含む一般の集団が、顕著な不快、刺激や無症候性の非知覚の影響を経験しないと予想される最高の空気中化学物質濃度である。影響は障害ではなく、一時的で、曝露停止で可逆的である。
重篤な影響	影響に敏感な人も含む一般の集団が、不可逆的または重大な長期に亘る有害健康影響または逃避能力の障害を経験しないと予想される最高の空気中化学物質濃度である。
致死的影響	影響に敏感な人も含む一般の集団が、致死的な健康影響または死を経験しないと予想される最高の空気中化学物質濃度である。

#### (4) 既存のデータベース

本評価指針で紹介する既存のデータベースにおける基準値やガイドライン値とそれらの保護対象と曝露時間を表3－2－3に示す。

表3-2-3 各種基準値およびガイドライン値で扱われる保護対象と曝露時間

ガイドライン	曝露時間				
	10分	30分	1時間	4時間	8時間
AEGL-1	○	○	○	○	○
AEGL-2	○	○	○	○	○
AEGL-3	○	○	○	○	○
ERPG-1			○		
ERPG-2			○		
ERPG-3			○		
TEEL-1			○		
TEEL-2			○		
TEEL-3			○		
EEGL			●		(24時間)
IDLH		●			
PEL-TWA					●
PEL-STEL	● (15分)				
REL-TWA					●
REL-STEL	● (15分)				
TLV-TWA					●
TLV-STEL	● (15分)				
許容濃度					●

○：一般住民の集団を保護対象とする、●：労働者の集団を保護対象とする

### (5) Klimisch の信頼性基準

ヒト無毒性濃度の導出に用いる試験の信頼性を格付けするために、本評価指針で推奨する Klimisch et al. (1997)による信頼性基準を表3-2-4に示す。この基準により、試験の信頼性を、1：信頼性あり（制限なし）、2：信頼性あり（制限付き）、3：信頼性なしおよび4：評価不能の各ランクに格付けできる。

表3－2－4 既存情報に対するKlimischの信頼性基準

Klimischコード	信頼性基準（信頼性を判断する観点）
1 信頼性あり (制限なし)	以下のいずれかに該当： ・有効性が確認された/国際的に受入れられている試験ガイドラインに準拠した試験またはデータ（GLP適合が望ましい） ・記載された試験項目が特定の試験ガイドラインに基づいている ・記載された全試験項目が試験ガイドラインの方法と密接に関連しているまたは同等である試験やデータ
2 信頼性あり (制限付き)	記載された試験項目は特定の試験ガイドラインに完全には一致していないが、当該データの受入れるに十分、または詳細な記載により科学的に容認できる試験結果が記載されている試験やデータ（多くの場合、GLPに非適合）
3 信頼性なし	試験に試験ガイドラインからの逸脱や不明な点がある等、専門家の判断において説得力がない試験やデータ
4 評価不能	試験の詳細が十分に示されていない短い要約または二次文献（書籍、レビュー等）にリストアップされているだけの試験やデータ

## (6) ヒト無毒性濃度の導出例

メチルシクロヘキサン（MCH）について、本評価指針に記載した手順に従って導出した軽微な影響と重篤な影響に対するヒト無毒性濃度の10分、30分、1時間、4時間および8時間値と既報の国内外の機関で設定された値を表3－2－5に示す。

表3－2－5 MCHの急性の吸入影響に対するヒト無毒性濃度（単位：ppm）

ガイドライン	曝露期間				
	10分	30分	1時間	4時間	8時間
軽微（本指針）*	170	170	170	170	170
重篤（本指針）*	620	620	500	320	210
致死（本指針）*	—	—	—	—	—
TEEL-1*			1200		
TEEL-2*			1700		
TEEL-3*			10000		
IDLH**		1200			
PEL-TWA**					500
REL-TWA**					400
TLV-TWA**					400
許容濃度**					400

\*: 一般住民の集団を保護対象とする、\*\*: 労働者の集団を保護対象とする

## (7) 参考文献

Klimisch H.J., M. Andreae and U. Tillmann (1997) A Systematic Approach for Evaluating the Quality of Experimental and Ecotoxicological Data. Regul.Toxicol.

### 3-3. 急性曝露推定ツールの構築

#### (1) はじめに

開発した急性曝露推定ツールは、放出源近傍の大気中曝露濃度の推定に加えて、ツール内のデータベースのヒト無毒性濃度データに基づいて急性健康影響の影響度（結果の重大性）の推定も可能である。このため、ツールの名称を「急性影響評価ツール」とし、Ver. 0.94βを産業技術総合研究所で著作権登録（著作権登録管理番号：H30PRO-2182）を行った。このため、以下では、ツール名を「急性影響評価ツール Ver. 0.94β」と記載している。

#### (2) ツールの概要

急性影響評価ツール Ver. 0.94βは、事故等により貯蔵施設等から人体に有害なガスおよび液状の化学物質が漏洩した場合の放出源周辺の化学物質の大気中濃度の分布と重篤度が異なる急性の吸入健康影響が生じる範囲（被害範囲）を推定するツールである。これらの推定の全体の流れを図3-3-1に示す。

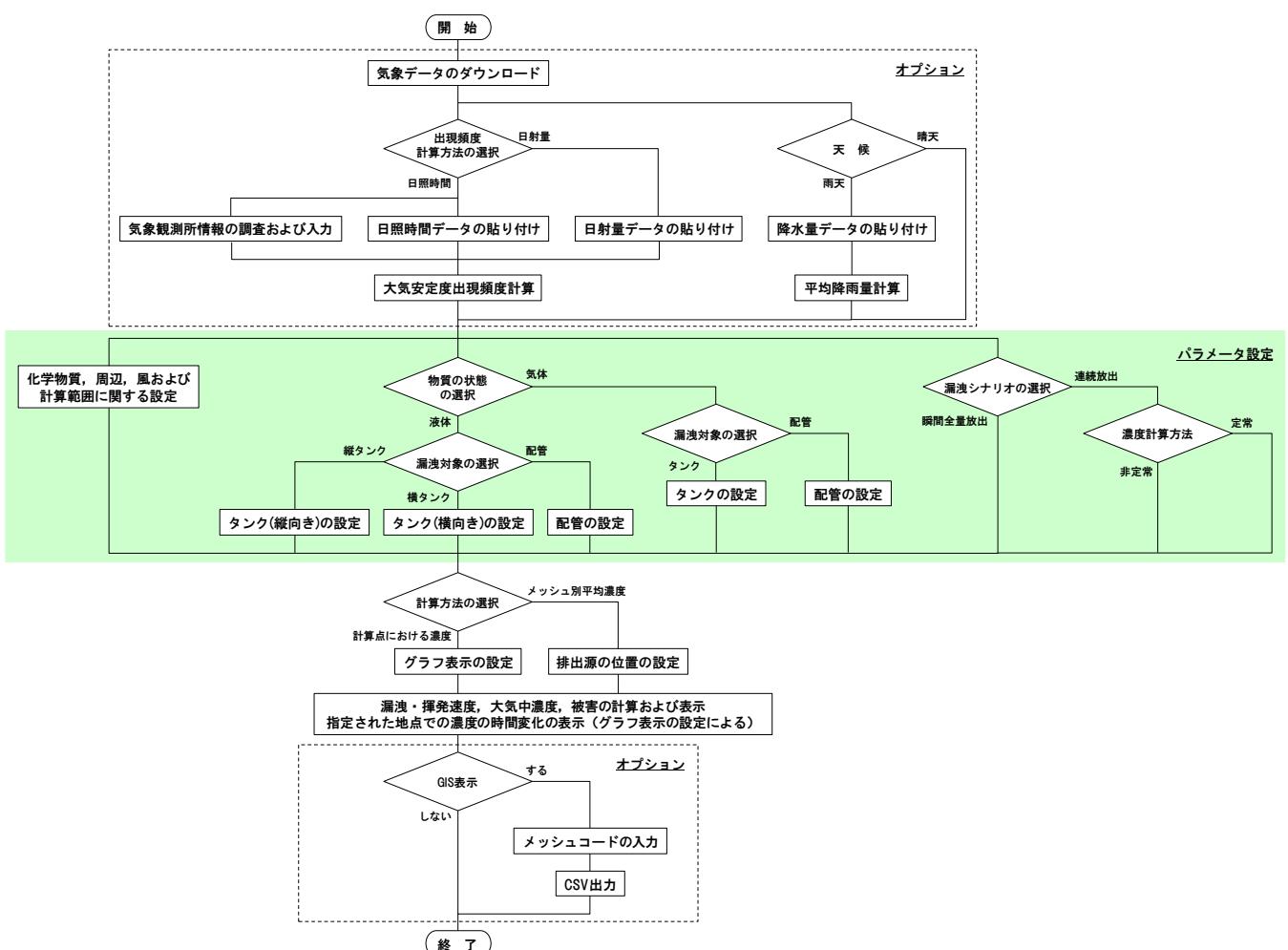


図3-3-1 急性影響評価ツール Ver. 0.94βでの推定の全体的な流れ

急性影響評価ツール Ver. 0.94b は、図 3-3-1 に示すように；

- ① 評価対象物質を選択し、表 3-3-1 に示すその物質の物理的状態、物性、ヒト無毒性濃度等に関するパラメータを選択または設定

表 3-3-1 化学物質に関するパラメータ

パラメータ	単位
物理的状態	気体または液体
分子量	g/mol
蒸気圧	Pa
蒸気圧温度	K
液体密度	kg/m <sup>3</sup>
気体比熱比	—
気/液平衡定数	—
酸解離定数	—
ヒト無毒性濃度のエンドポイント	—
無毒性濃度の曝露時間	分または時間
ヒト無毒性濃度	ppm

- ② 表 3-3-2 に示す貯蔵、漏洩および揮発に関するパラメータを選択または設定

表 3-3-2 貯蔵、漏洩および揮発に関するパラメータ

パラメータ	単位
タンク半径	m
貯蔵タンク長さ	m
タンク貯蔵容量	m <sup>3</sup>
流出係数	—
容器内圧力	Pa
配管内の流速	m/秒
送出圧力	Pa
漏洩孔直径	cm
漏洩源の高さ	m
防油堤の底面積	m <sup>2</sup>
漏洩・揮発速度平均化時間	分
漏洩シナリオ (瞬間全量、連続)	—

- ③ 表 3-3-3 に示す計算対象地域の地形、大気安定度、風および降雨等に関するパラメータを選択または設定

表 3-3-3 地形、気象等に関するパラメータ

パラメータ	単位
地形 (Rural, Urban)	—
大気安定度 (A, B, C, D, E, F)	—
風向 (16 方位 + 静穏)	—
測定高さでの風速	m/秒
風速測定高さ	m
天気	—
降雨量	mm/時
雨水の pH	—

④ 表 3-3-4 に示す計算範囲・計算条件を選択または設定

表 3-3-4 計算範囲及び条件に関するパラメータ

パラメータ	単位
計算方法 (非定常, 定常)	—
計算範囲 (X 軸, Y 軸)	m
刻み間隔 (X 軸, Y 軸)	m
濃度計算高さ	m
経過時間	分
計算間隔	秒
濃度変化表示地点の座標 (X 軸, Y 軸)	m
排出源の位置 (X 軸, Y 軸)	m
3 次メッシュコード	—

を行う。これらの選択、設定は図 3-3-2 に示す条件設定画面で行う。

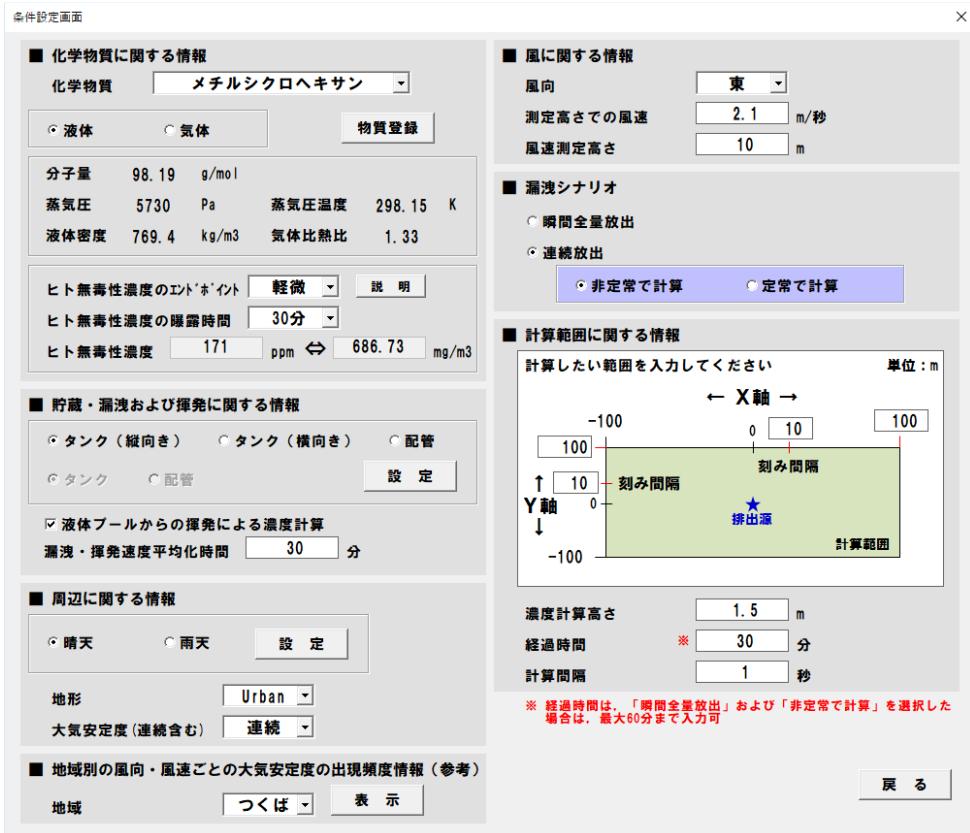


図 3－3－2 急性影響評価ツール Ver. 0.948 の条件設定画面

選択・設定された条件に基づいて、縦向きタンク、横向きタンクおよび配管からの評価対象物質の漏洩速度を推定し、さらに Kawamura and Mackay (1987)の式で漏洩液体の揮発速度を推定する。タンク貯蔵容量、漏洩・揮発速度から瞬間全量放出時または連続放出時の大気中濃度の分布を、任意の間隔の計算点または 10m メッシュごとの平均濃度として計算する。

さらに、計算された大気中濃度分布と設定された重篤度ごとの急性影響の曝露時間とヒト無毒性濃度から急性の健康影響が生じる範囲を表示する。

さらに、10m メッシュ平均濃度および急性健康影響が生じる範囲を地理情報システム (GIS) で活用するために、メッシュコード付きの CSV ファイルとして出力することもできる。

なお、急性影響評価ツール Ver. 0.948 での計算には、風向 (16 方位および静穏) と大気安定度 (A~F) から各々 1 条件を選択して行う計算と計算対象地域での年間の風向・風速ごとの大気安定度出現頻度データを用いて、複数の大気安定度について一度に行う計算がある。後者の計算に必要な年間の風向・風速ごとの大気安定度出現頻度データは、データベース内の既存データを用いるか、または「推定の全体的な流れ」の図 3－3－1 に示すように気象庁が公開している観測所データを用いてツール内で計算した風向・風速ごとの大気安定度出現頻度を用いることが可能である。

### (3) ツールで使用する大気拡散モデル

急性影響評価ツール Ver. 0.94β は、大気中曝露濃度の推定に表 3-3-5 に示す複数の大気拡散モデルを用いる。

表 3-3-5 急性影響評価ツール Ver. 0.94β で使用するモデルと拡散幅計算式

	放出形態 (モデル)	風速	拡散幅計算式
非定常	瞬間全量放出 連続放出 (パフ)	無風時：風速 $\leq 0.4 \text{ m/秒}$ 弱風時： $0.4 < \text{風速} < 1 \text{ m/秒}$	係数 $\alpha$ および $\gamma$
		有風時：風速 $\geq 1 \text{ m/秒}$	Pasquill-Gifford (Rural) Briggs (Urban)
定常	連続放出 (パフ)	無風時：風速 $\leq 0.4 \text{ m/秒}$ 弱風時： $0.4 < \text{風速} < 1 \text{ m/秒}$	係数 $\alpha$ および $\gamma$
	連続放出 (プルーム)	有風時：風速 $\geq 1 \text{ m/秒}$	Pasquill-Gifford (Rural) Briggs (Urban)

非定常状態時の大気中曝露濃度は、以下の式(1)で表されるパフモデルで推定する。

$$C(x, y, z, t) = \int_0^t \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left(-\frac{(x-U_s \cdot t)^2}{2\sigma_x^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot F_z \cdot dt \quad (1)$$

ここで、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ ：計算点の座標 (m)、 $t$ ：放出後の経過時間 (秒)、 $Q$ ：瞬間全量放出時の放出量 (mg) または連続放出時の放出速度 (mg/秒)、 $U_s$ ：漏洩源の高さでの風速 (m/秒) である。

$\sigma_x$ 、 $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ ： $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向の拡散幅 (m) であり、無風時 (風速  $\leq 0.4 \text{ m/秒}$ ) と弱風時 ( $0.4 < \text{風速} < 1 \text{ m/秒}$ ) の場合は、以下の式(2)と(3)に示すように、 $t$  に係数  $\alpha$  と  $\gamma$  を乗じて算出する。

$$\sigma_x = \sigma_y = \alpha \cdot t \quad (2)$$

$$\sigma_z = \gamma \cdot t \quad (3)$$

また、有風時 (風速  $\geq 1 \text{ m/秒}$ ) の場合はこれらの拡散幅を Pasquill-Gifford の式 (Rural) または Briggs の式 (Urban) で計算する。

$F_z$ ：以下の式(4)で計算される鉛直方向の濃度補正項で、式中の  $He$  は漏洩源の高さ (m) である。

$$F_z = \left\{ \exp\left(-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\} \quad (4)$$

一方、連続放出に伴う定常状態時の曝露濃度は、無風時と弱風時には定常パフモデルを、有風時にはプルームモデルを適用して推定する。

定常パフモデルは、以下の式 (5)で表される（浮遊粒子状物質対策検討会、1997）。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2}\gamma} \exp\left(-\frac{U_s^2}{2\alpha^2}\right) \left[ \frac{1}{\eta_-} \left\{ 1 + \frac{(\pi/2)^{1/2} U_s \cdot x}{\alpha \cdot \eta_-^{1/2}} \exp\left(\frac{(U_s \cdot x)^2}{2\alpha^2 \eta_-}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(-\frac{U_s \cdot x}{\sqrt{2}\alpha \cdot \eta_-^{1/2}}\right) \right\} + \frac{1}{\eta_+} \left\{ 1 + \frac{(\pi/2)^{1/2} U_s \cdot x}{\alpha \cdot \eta_+^{1/2}} \exp\left(\frac{(U_s \cdot x)^2}{2\alpha^2 \eta_+}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(-\frac{U_s \cdot x}{\sqrt{2}\alpha \cdot \eta_+^{1/2}}\right) \right\} \right] \quad (5)$$

ここで、 $Q$ : 平均放出速度 (mg/秒) で、 $\alpha$  と  $\gamma$ : 式 (2) と (3) で用いる拡散幅計算用の係数である。

$\eta_-$  と  $\eta_+$ : 以下の式 (6) と (7) で計算する。

$$\eta_- = x^2 + y^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (z - He)^2 \quad (6)$$

$$\eta_+ = x^2 + y^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (z + He)^2 \quad (7)$$

$\operatorname{erfc}$ : 以下の式 (8) で定義される相補誤差関数である。

$$\operatorname{erfc}(W) = \frac{2}{(\pi)^{1/2}} \int_W^\infty \exp(-t^2) dt \quad (8)$$

定常プルームモデルは、以下の式で表される (U.S. EPA, 1995)。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U_s} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot F_z \quad (9)$$

ここで、 $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ : Pasquill-Gifford の式 (Rural) または Briggs の式 (Urban) で計算される水平方向と鉛直方向の拡散幅 (m) である。

#### (4) 結果の出力

漏洩開始 10 分、30 分および 60 分後の非定常状態の 10m メッシュごとの平均大気中濃度と重篤度ごとの影響発現範囲を急性影響評価ツール Ver. 0.948 で推定した例を図 3-3-3 に示す。漏洩後経過時間とともに、濃度が増大し、有害影響を生じる範囲も増大することがわかる。

さらに、年間の風向・風速ごとの大気安定度出現頻度データを用いて推定した漏洩事故が生じた場合の 10m メッシュごとの急性健康影響の影響度を GIS にインポートし、GIS 上で事故発生確率、人口等を考慮して解析することにより、健康リスクを評価することができる。

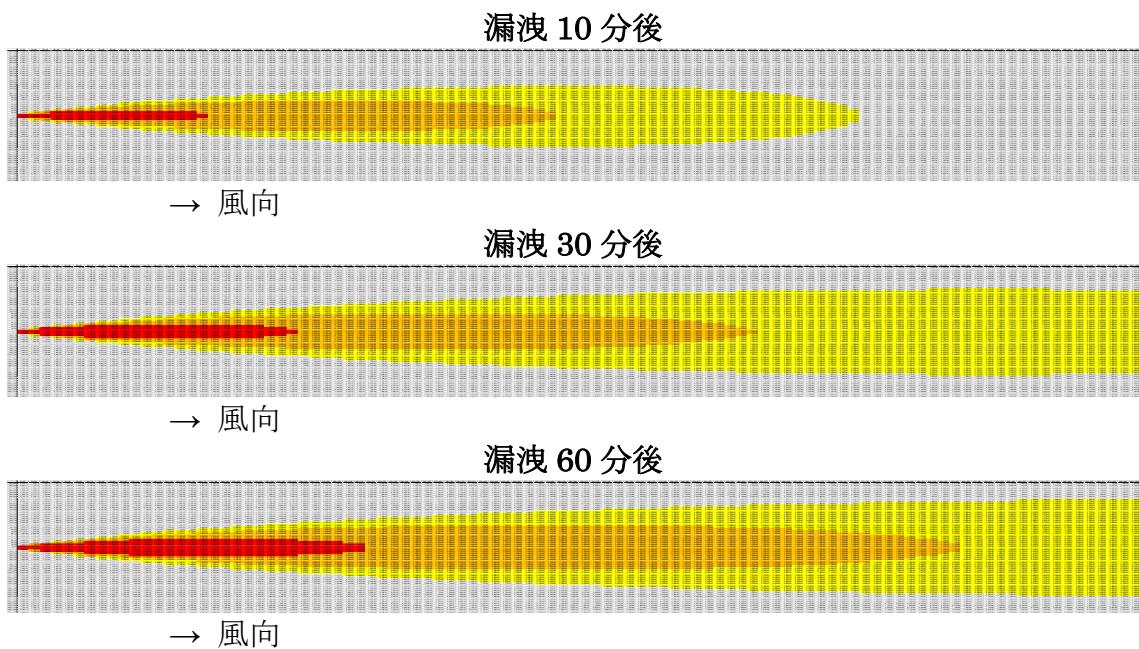


図 3－3－3 漏洩時間別の大気中濃度分布と有害影響を生じる範囲

■：致死的影響、■：重篤な影響、■：軽微な影響の  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  メッシュを示す

### (5) 参考文献

浮遊粒子状物質対策検討会 (1997) 浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル. 東洋館出版社

Kawamura P.I. and D. Mackay (1987) The evaporation of volatile liquids. J. Hazardous Materials, 15, 343-364.

U.S. EPA (1995) User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Volume II – Description of Model Algorithms. EPA-454/B-95-003b.

3－4. 10m メッシュの解像度を持つ建物・人口・ステーション立地データベースの作成

既存の建物・人口 3 次メッシュデータ等から、10m メッシュの建物棟数と建物内人口を作成する方法を表 3－4－1 のように構築した。

表3－4－1 10m メッシュの建物棟数と建物内人口作成方法

項目	概要	参考文献
1 メッシュユエリア作成	建物面積計算、人口推計計算に必要な3次メッシュの範囲を定め、その3次メッシュを東西・南北それぞれに100×100に分割し、約10mのサイズのメッシュを作成する。	(財) 統計情報研究開発センター、平成22年国勢調査に関する地域メッシュ統計。 (財) 統計情報研究開発センター、平成18年事業所・企業統計調査等のリンクによる地域メッシュ統計。
2 建物面積計算	建物ポリゴンデータに対して、建物種別、構造別建物比率、建物面積・階数のデータを付与する。建物別記情報および建物ポリゴン名称を使用して建物種別の判定を行う。	株式会社 ゼンリン、住宅ポイントデータ、整備時期2012年。
3 10mメッシュ建物棟数計算	建物ポリゴンを10mメッシュによって分割し、分割された各部分についての棟数・延床面積を計算する。	
4 人口推計計算	10mメッシュに分割された建物の棟数、延床面積と、土地統計調査（住宅用）と法人建物調査（オフィス用）等による次メッシュ毎の人口のデータから、10mメッシュ毎の人口を推計する。	総務省統計局、平成20年住宅・土地統計調査。 国土交通省、平成20年法人建物調査。 総務省統計局、平成21年経済センサス。 厚生労働省、平成22年病院報告。

その方法を用いて、東京23区、川崎市、横浜市の10mメッシュの建物棟数と建物内人口を作成するとともに、製油所から水素ステーションまでのエネルギーキャリア輸送範囲である地域や、現在水素ステーションが立地あるいは計画している地域も含めて、千葉市等の関東地域を対象に建物・人口の10mメッシュデータを作成した（図3－4－1参照）。

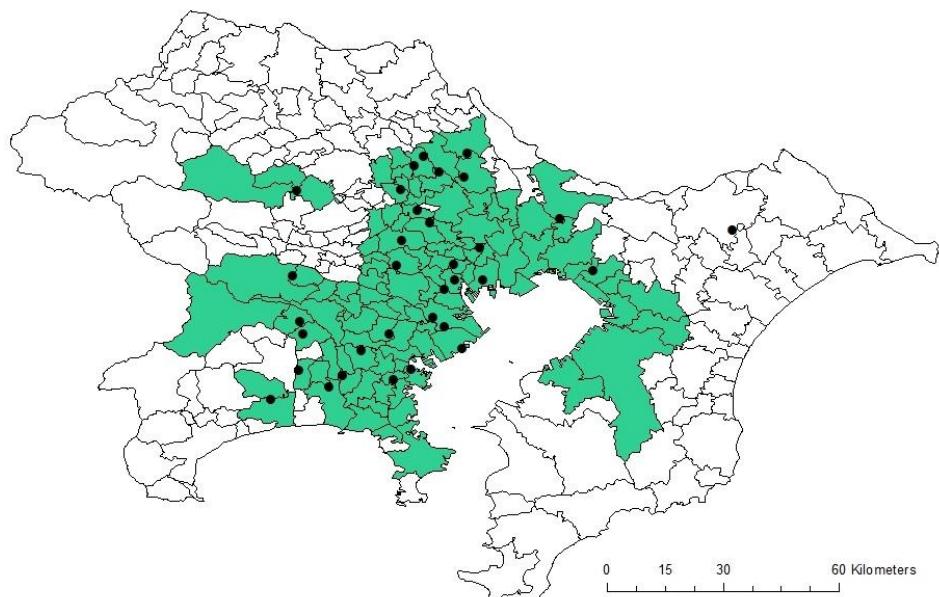


図3－4－1 関東4都県（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県）における建物・人口の曝露データ作成地域（●：水素ステーション、緑色：曝露データ作成地域）

東京都23区内の水素ステーション周辺の建物と人口データを検証したところ、事業所・住宅別の建物棟数および建物内の昼間・夜間人口について、距離別に再現していることを確認できた。以上から、10m メッシュの解像度を持つ建物・人口・ステーション立地データベースを作成した。

### 3－5．エネルギーキャリアのリスク定量化およびリスク比較手法の確立

事故発生確率、物質排出量、ハザード、脆弱性、曝露の各データをもとに、リスクを評価する枠組みを図3－5－1のように構築した。

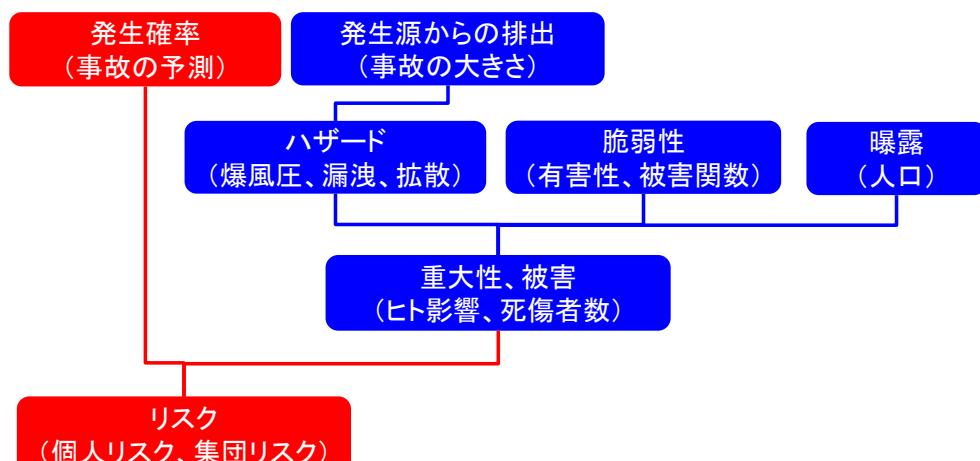


図3－5－1 水素エネルギーキャリアのリスク評価の枠組み

ハザードと脆弱性のデータから重大性（ヒト影響率、死亡率など）を計算し、さらに曝露データ（人口）を乗算することで被害（死傷者数など）を計算した。また、個人リスク、集団リスクは以下の式で計算した。

$$\text{個人リスク} = \text{発生確率} \times \text{重大性}$$

$$\text{集団リスク} = \text{発生確率} \times \text{被害} = \text{発生確率} \times \text{重大性} \times \text{曝露}$$

スクリーニング評価とリスク評価の位置づけを図3-5-2に示す。スクリーニング評価では、様々な設備・配管からの漏洩事故を総合的に扱い、水素ステーションにおける21の事故シナリオを設定した。5段階の漏洩規模ごとに事故シナリオ別に10mメッシュ間隔で水素ステーションおよび周辺地域のスクリーニング評価を行うことで、潜在的にリスクが大きい事故シナリオを抽出した。リスク評価では、潜在的にリスクの大きい事故シナリオを対象に、1mメッシュ間隔で水素ステーション内を中心に詳細なリスク評価を行った。リスク許容レベルにもとづく離隔距離を算出し、現行法との比較を行った。

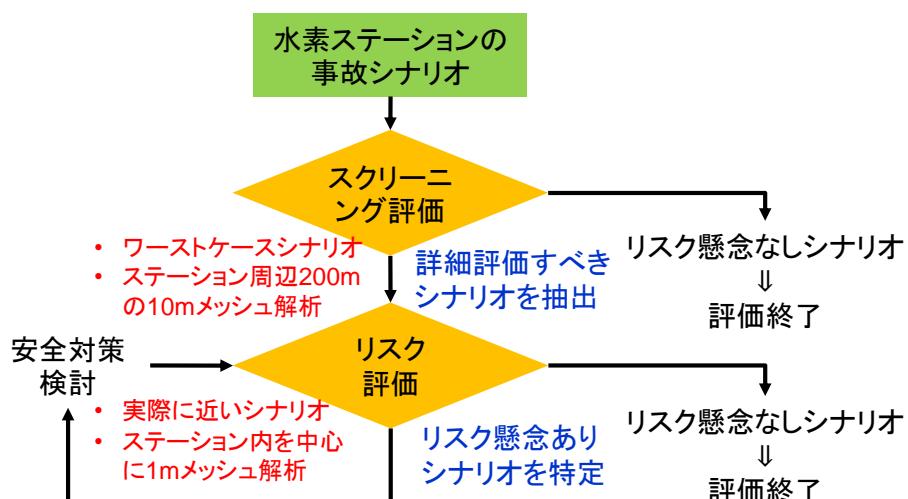


図3-5-2 スクリーニング評価・リスク評価の位置づけ

本評価において以下の項目を特徴づけた。1つ目に、スクリーニング段階のリスク評価として、事故規模や様々な機器からの事故事象を総合的に扱った。2つ目に過去の事故事例データをもとに、水素ステーションでの最新の事故データでベイズ更新することで、精度の高い発生確率推定スキームを用いた。3つ目に、水素漏洩による爆風・火炎の影響のみならず、化学物質漏洩による毒性影響のリスク評価も実施することで、有機ハイドライド型水素ステーションへの適用を図った。そして、周辺も含めた空間的なリスク評価を実施し、結果を地理情報システム（GIS）上に表示した。

さらに、様々な症状をリスク比較することを目的に、QOL（quality of life）調査データにもとづいた質調整生存年数（QALY）に換算することによって、共通の単位にした。そして、各症状の集団リスクによる損失QALYsを、下式を用いて計算した。

$$\text{損失 QALYs [日/年]} = (1 - \text{QOL}) \times \text{症状継続日数 (日/人)} \times \text{集団リスク (人/年)}$$

以上から、エネルギーキャリアのリスク定量化およびリスク比較手法を確立した。

### 3－6. リスク評価書作成

発生確率解析、ハザード評価、脆弱性推定、被害・リスク評価、安全要件の検討の各解析結果により確立した手順をもとに、有機ハイドライド型水素ステーションのスクリーニング評価及び詳細リスク評価を実施し、「水素ステーションとその周辺のリスク評価書」を作成した。

#### (1) 評価書作成の意義

本書は、事業者や行政が水素ステーション導入の際にその安全性を説明する際に用いることを意図し、定量的リスク評価の手順、およびリスク評価結果をまとめたものである。また、より現実的な観点から、リスク評価を伝えたと仮定したときに予想される、市民の受容性についても情報をまとめたものである。

水素ステーションの建設や普及に携わる事業者の視点では、その設置費用が高いことが、普及の妨げになっているという声が挙がっている。高圧ガス保安法に基づく現在の堅牢な規制は、安全を担保する上で効果があったと考えられるが、十分に安全すぎて企業や国に多大な費用がかかっている可能性もある。現行の安全管理体制の元では、現在確立されている技術に合わせて規制措置を定めるために、今後の新たな技術イノベーションを妨げてしまう可能性がある。したがって、現行の離隔距離や技術基準などの規制について、How safe is safe enough? (どれだけ安全なら十分に安全か) を具体的に議論できる情報を用いて決めることが望ましい。

ところが、高圧ガス保安法における水素ステーションの設置基準設定の元になった「安全」の考え方では、事業者が「安全すぎるのかどうか」を判断することができず、「安全の程度がどのくらいなのか」を伝えることができない。なぜなら、この「安全」はリスクという比較可能な数値では表されていないからである。このギャップを埋めるには、リスクを数値の大きさで表す「定量的リスク評価」を実施し、リスクが許容できるレベルであるか否かを示すことが必要である。日本では定量的リスク評価が一般的ではないこともあり、評価の手順と結果が簡潔にまとめた文書を、評価書という形で公表することが求められている、と判断した。

さらに、本書の情報は、住民等のステークホルダーとのコミュニケーションにおいても活用可能である。水素ステーションは市街地に建設される社会インフラであり、住民からは水素に関する爆発・燃焼の懸念が持たれる可能性がある。理想的には、水素ステーションに関連した事故の影響や、使用される化学物質が周辺に与える影響について「安全の程度がどのくらいなのか」という情報、逆に、周辺にもたらされるベネフィットの情報を示し、意見交換を行ってステークホルダーが納得の行く形で導入されるのが望ましい。このようなコミュニケーションは行政や事業者にとって避けて通れないものになっている一方で、リスク評価結果がまとめられた文書は限られていることから、本書の公表はこの点においても有益であると判断した。

## (2) 評価の特徴

リスクの大きさは、一般に、発生確率と重大性の大きさの両方を考慮して見積もられる。本書でも、この枠組みで有機ハイドライド型水素ステーションの定量的リスク評価を実施した。これまで定量的リスク評価が日本で行われてこなかった理由としては、事故データの少なさ等の理由から、発生確率を適切に見積もることが難しかったことが考えられる。また、重大性の大きさはハザード、脆弱性、曝露の要素に分解できると考えられ（図3-5-1参照）、これらをそれぞれ定量化することによって一気通貫したリスク評価を実施している。

本研究では発生確率を定量的に推定していることが1点目の特徴である。発生確率は漏洩頻度の推定値をもとに設定した。ポイントは漏洩規模を5段階にカテゴリ化し、それぞれの漏洩頻度を求めており、このカテゴリ化により、重大性（ハザード）の推定を漏洩規模ごとに実施することが可能となった。2点目の特徴は、詳細な暴露評価を行うため、水素ステーション普及が見込まれる地域を対象に、10mメッシュの建物棟数と建物内人口についての地理情報システムデータの構築を行ったことである。これにより、水素ステーションの設置場所周辺の地形状況、人口密集度状況による影響の変化も検討可能となった。

また、リスク評価の進め方について、「スクリーニング評価」と「詳細リスク評価」からなる2段階のリスク評価を行っていることも特徴である。リスク評価には様々な仮定や前提条件が必要であり、条件は無限にありうる。したがって、時間的人的資源の制約から、重要な（リスクの懸念が高いと予想される）シナリオを絞り込むことが重要である。「最も被害の大きく出る仮定のもと計算してもなお、リスクが無視できるほど小さいシナリオ」を除外するための評価をここでは「スクリーニング評価」という。スクリーニング評価後、重要なシナリオについて、より現実的かつ詳細な条件を設定し、リスクを再計算するプロセスをここでは「詳細リスク評価」という。スクリーニング評価と詳細リスク評価では、事故シナリオが一般的か、または現実に近いかという点や、計算メッシュの詳細さという点が異なっている。

## (3) 評価のために開発された要素技術

漏洩頻度推定に関しては、ベイズ推定を用いて有機ハイドライド型水素ステーションの構成機器ごとに漏洩頻度を推定する方法を検討し、定量的リスク評価に適用可能な漏洩頻度を推定するスキームを確立した。モデルは、米国 Sandia 国立研究所が報告しているものをベースとした。ベイズ更新の際、Sandia 国立研究所の推定結果を事前分布として用い、国内漏洩頻度をデータとして取り込んだ。国内漏洩頻度については、国内漏洩事故を Sandia 国立研究所のモデルの5段階の漏洩サイズ（Very Small, Minor, Medium, Major, Rupture）にカテゴリ化する方法を検討するとともに、機器数などを想定することにより求めた。図3-6-1は水素貯蔵・脱水素工程におけるバルブを対象とした、漏洩頻度推定の例である。国内漏洩頻度としてまず、国内の圧縮天然ガス（CNG）スタンドの事故頻

度データを用いて1回目のベイズ更新をし(図中黒色で示す)、次に国内の水素ステーションの事故頻度データを用いて2回目のベイズ更新をした(図中赤色で示す)。このように有機ハイドライド型水素ステーションの構成機器の漏洩頻度として、中央値、5パーセンタイルおよび95パーセンタイルを得、これらの値をリスク評価に用いることとした。

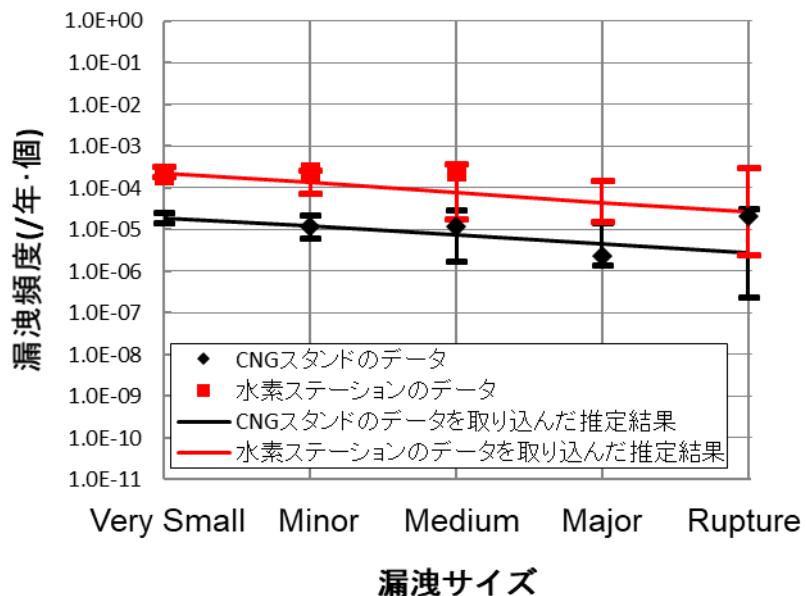


図3-6-1 ベイズ推定による機器ごとの漏洩頻度推定結果例（水素貯蔵・脱水素工程におけるバルブの漏洩頻度）

漏洩頻度推定のシナリオに対応した重大性(ハザード)の推定は、有機ハイドライド型水素ステーションのモデルプラントの工程を21のセクションに分類し、各セクションにおいて、5段階(Very Small～Rupture)の漏洩サイズの漏洩が発生することを漏洩シナリオとした。また、各セクションの漏洩頻度(5パーセンタイル、中央値、95パーセンタイル)を求めるとともに、セクションごとの漏洩量を求めた。この結果は、スクリーニング評価に適用した。上記の漏洩シナリオごとに、漏洩時圧力や漏洩サイズなどから漏洩量を推定し、その全量が理想条件(水素濃度30vol%)において着火した場合を想定して爆風影響解析を実施した。解析結果からハザード影響として、爆風ピーク過圧、インパルス等を評価した。爆風ピーク過圧の計算例を図3-6-2に示す。これは人口密集地帯においてRupture条件時における圧力の時空間的変化を示したものであるが、このように、爆発中心点からの距離を指定した場合のピーク過圧を求めることができた。火炎影響解析についても同様に行い、火炎温度を評価した。また、化学物質の急性影響評価には、3-3項で示した急性影響評価ツールを新たに開発して用いた。

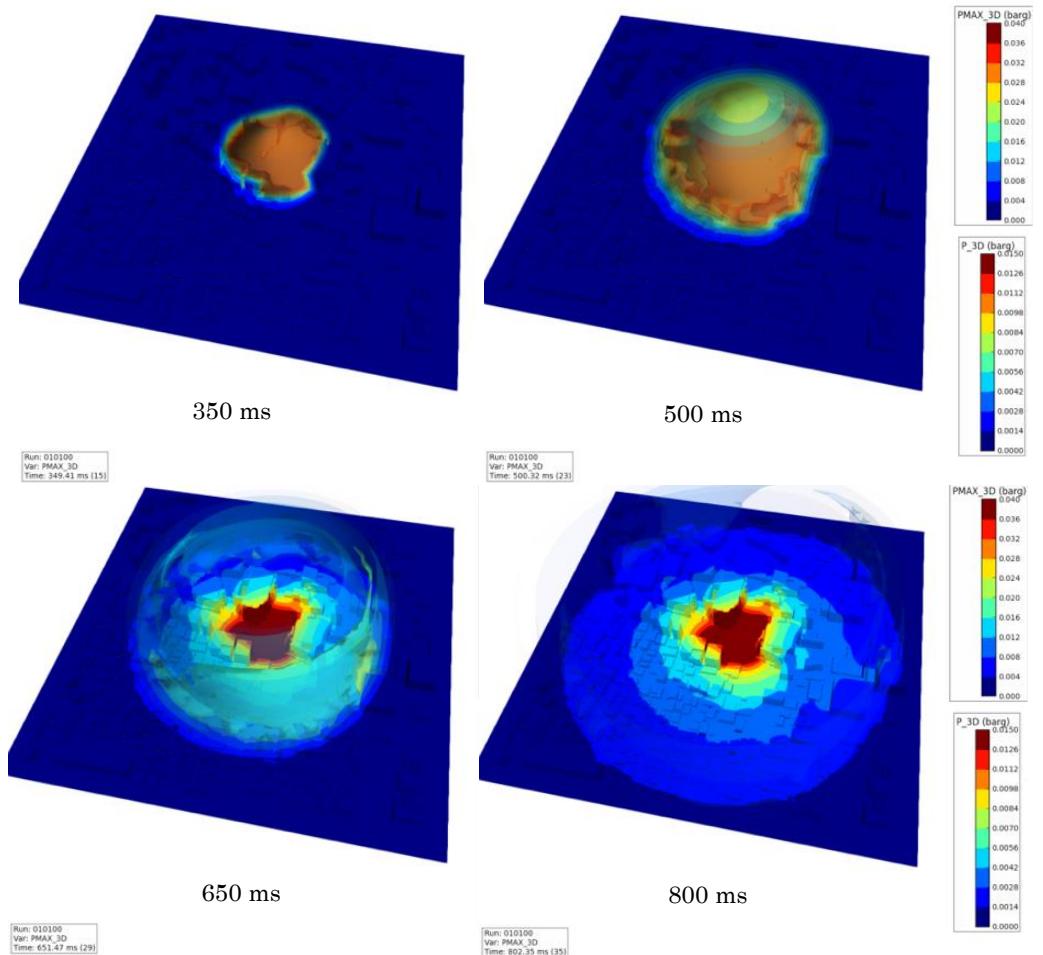


図3-6-2 爆風ピーク過圧計算例：人口密集地帯（Rupture 条件時における圧力履歴のコンタ図：0.35 s から 0.15s ごとに作図）

リスク評価の対象に関しては、モデル地域（水素ステーション普及シナリオの対象地域である東京23区、川崎市、横浜市に立地する水素ステーション周辺地域）を設定し、それらを対象に、10m メッシュの建物棟数と建物内人口についての地理情報システムデータの構築を行った。これにより水素ステーションの設置場所周辺の地形状況、人口密集度状況、昼間・夜間人口状況による影響の変化が検討可能となった。水素ステーションの事故による労働者、ステーション利用者や周辺住民への重大性・被害を算定するために、爆風圧に曝露した場合の人体・建物への影響と、熱放射による人体への影響について、既存の被害関数を利用してプロビット関数を作成した。

#### (4) スクリーニング評価

水素が漏洩した後での爆発あるいは熱放射によるヒトへの重大性・被害・リスクを推定するフィジカルハザード評価においては、すべての事故シナリオで、ステーション周辺の

一般環境では、ヒトへの死傷リスクは十分に小さく、リスク懸念なしと判断した。また、作業環境で、有機ハイドライド型ステーションに特有の脱水素工程、液体貯蔵工程からの事故漏洩シナリオでのヒト影響の死傷リスクは小さく、リスク懸念なしと判断した。しかし、通常の水素ステーションと共に水素貯蔵工程で、高圧水素漏洩後の火炎によるヒト影響の死傷リスクは大きくなつた(図3-6-3参照)。そして、蓄圧器とその接続配管、圧縮機を漏洩源とするシナリオを主要なリスクシナリオとして抽出した。これらのシナリオと、人が多く開放系のディスペンサー周辺について、より現実的な条件のもと、詳細なリスク推定を行う。

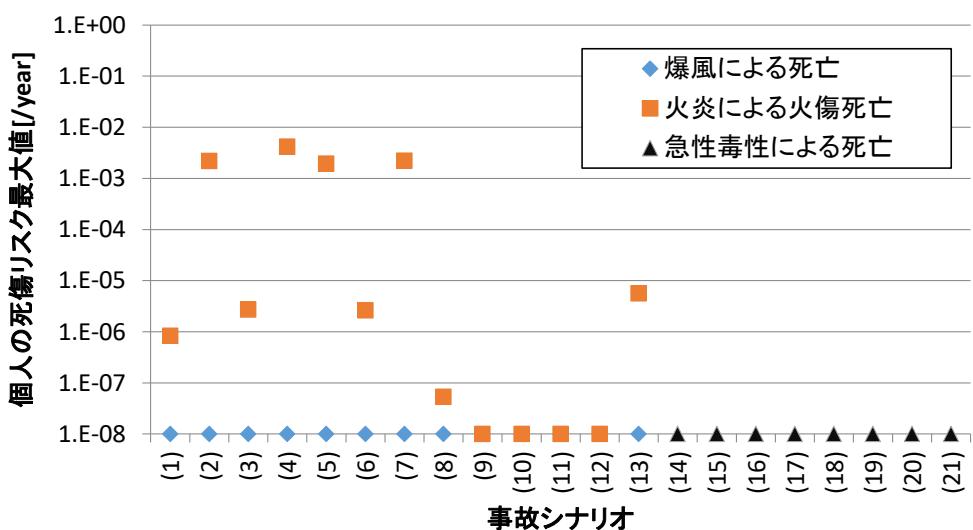


図3-6-3 スクリーニング評価による各事故シナリオの個人リスク最大値

化学物質の有害性に関して、MCH を有機ハイドライドとして用いる水素ステーション周辺住民への MCH とトルエン (TOL) の慢性曝露に伴う健康リスクと急性曝露に伴う健康被害をスクリーニング評価した。

MCH のローリーからの荷卸しと TOL のローリーへの積込みに伴って通気管から定常排出される両物質への慢性曝露に伴う健康リスクは懸念されるレベルではないと判断された。

急性曝露は、漏洩事故の規模により、水素ステーション周辺の MCH や TOL の大気中濃度が大きく変化するため、急性健康影響を生じる範囲も変動するが、重篤な影響を生じ得る範囲は水素ステーション周辺のごく近傍であり、避難等の適切な対策により、急性健康影響の軽減は可能と思われた。

## (5) 詳細リスク評価

まず、漏洩頻度推定結果とイベントツリー解析 (Event Tree Analysis、ETA) 結果を組み合わせ、漏洩を初期事象とする事故事象の生起確率を定量的に算出し、これを詳細リスク評価のための事故発生確率とした。対象とした漏洩シナリオは、スクリーニング評価の

結果、主要なリスクシナリオとして抽出された、蓄圧器とその接続配管、圧縮機と漏洩源とする漏洩シナリオ（セクション②～⑦からの漏洩）に、利用者に最も近いディスペンサーからの漏洩シナリオ（セクション①からの漏洩）を加えた7つの漏洩シナリオとした。解析に必要な水素の着火確率、遮断弁の失敗確率等のデータ調査を行い、イベントツリーに用いる分岐確率を決定するとともに、7つの漏洩シナリオにおける漏洩サイズ毎（Very Small～Rupture）のイベントツリー解析を行った。この結果、各漏洩シナリオの漏洩サイズ毎のイベントツリーにおいて、各ツリーに対応した事故発生確率として、中央値、5パーセンタイルおよび95パーセンタイルが得られた。この事故発生確率を詳細リスク評価に用いることとした。

水素漏洩により形成される濃度場において着火した場合の爆風・火炎影響シミュレーションを実施した。漏洩シナリオごとに漏洩規模に応じた漏洩解析を行い、着火時刻までに形成される濃度場を解析し、漏洩噴出方向に沿って分布する濃度場を取得した。また形成された濃度場をもとに着火した場合の火炎影響解析および爆風影響解析を実施し、火炎解析では熱流束の時間積分である”Heat Dose” ( $(W/m^2)^{4/3}s$ ) について1mメッシュ状に点計測して漏洩口周辺の影響範囲を評価した。

詳細な定量的リスク評価の結果、ディスペンサー周辺の外部配管からの水素漏洩によるヒトへの死傷リスクは $10^{-4}/年$ を超えないため、ステーション内の労働者や利用者のリスクは懸念なしと判断した。また、過流防止弁（逆止弁）によってリスク低減が効果的に図られることを明らかにした。さらに、高圧蓄圧器接続配管や圧縮機および接続配管からの水素漏洩によるヒトへの死傷リスクは、着火源から10m以上の範囲で $10^{-6}/年$ より小さくなった（図3-6-4参照）。防火壁や障壁無しでは現行法の離隔距離8mを満たさないため、防火壁設置によるリスク低減効果を定量化する必要性を明確にした。

そこで、ディスペンサーからの離隔距離や障壁設置の有無によるリスク低減効果を把握し、リスククライテリアにもとづく規制レベルを定量化した。その結果、火傷による住民や通行者の死傷リスクが許容レベルである $10^{-6}/年$ を超えない条件は、ディスペンサーからの離隔距離6mや障壁高さ3mとなり、現行の国内の高圧ガス保安法にもとづく規則よりも緩やかな結果となった。そのため、現行法によって水素ステーションのリスクは十分に低減できていることを示し、かつ規制見直しの可能性を明らかにした。

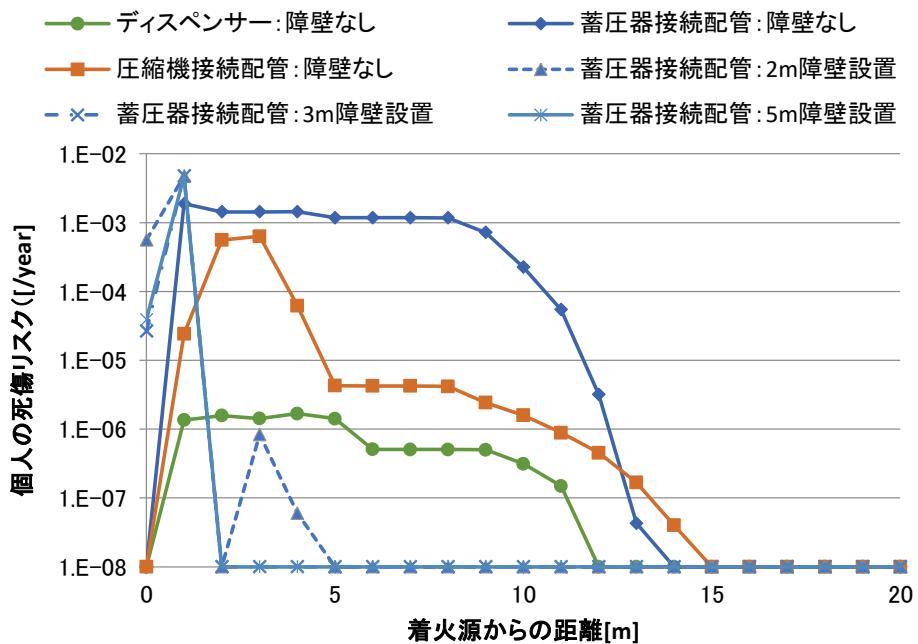


図3－6－4 リスク評価による事故シナリオ別の着火源からの距離と個人リスクの関係

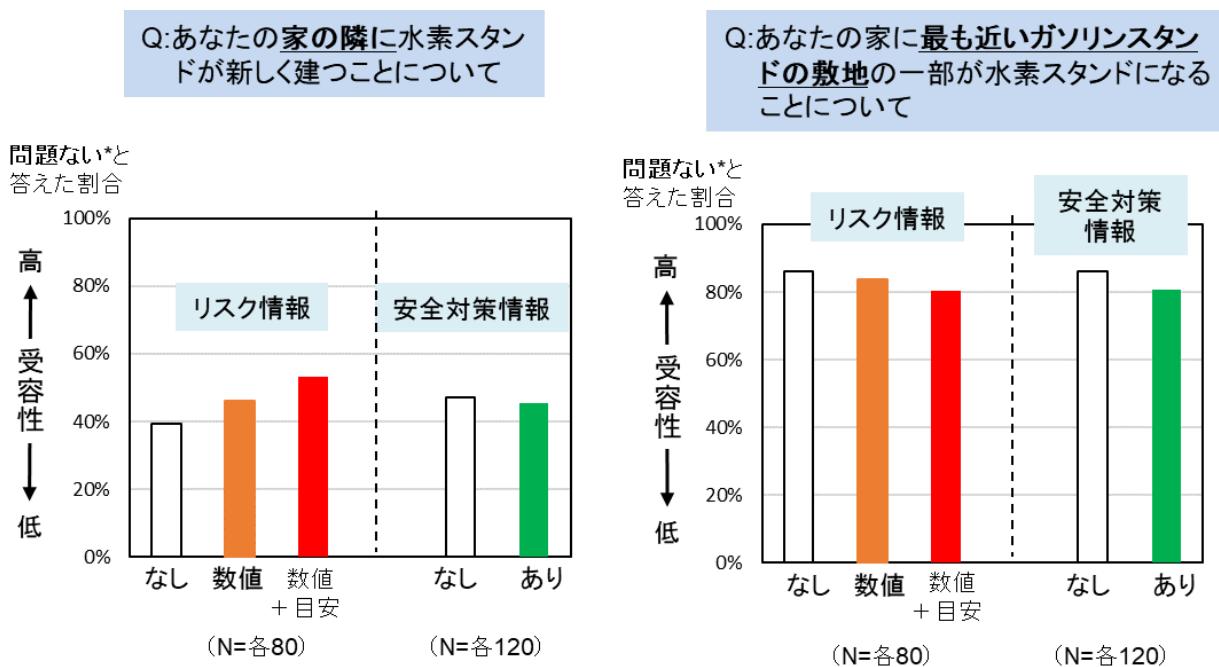
### 3－7. エネルギーキャリアのリスク認知特性および社会受容性に関するデータ集の作成

本事業において、社会受容性調査の結果をリスク評価書に取りまとめた。ここには、水素ステーションを受容する人の割合に加えて、どこに建設される時に受容するか、受容しやすい人の属性等について、日本の現状がまとめられている。加えて、諸外国の受容性調査結果とその分析結果についても取りまとめられている。

社会受容性調査を実施することによって、水素ステーションの受容性の実態を把握し、リスク認知の特徴を整理することができた。本事業の中で、情報提供がある場合のアンケートを2回行った。水素ステーションの受容性については、情報提示の有無にかかわらず市民は水素ステーションの建設に好意的であることが示された。自分の家の隣での建設を想定した場合、平均で5割弱、自宅の最寄りのガソリンスタンドでの建設を想定した場合、平均で8割以上の回答者が受容していた(図3－7－1)。また、経年的には水素ステーションの受容性は向上している傾向が見られた。

アンケートでは、群ごとにリスク情報、安全対策情報の有無を変化させて、ステーション建設の賛否を聞いた。回答者は「燃料電池車を持っておらず、当面買う予定もない」との前提。自分の家の隣に水素ステーションが建設される場合、忌避感が高まる(受容性は低くなる)という結果が得られた。これは予想された結果である。しかしその場合、リスク情報を含めた情報提供を行うと、情報提供がなかった場合よりも受容性が高まる傾向が見られた(図3－7－1)。すなわち、自分の家の隣に水素ステーションが建設される当事者に対しては、リスク情報という必ずしも“聞きたくない”情報であっても、それを伝え、説明することで理解が得られる可能性が高まる、と解釈できる。

自分の家の隣ではなく、最寄りのガソリンスタンドが水素ステーションを併売することを想定してもらった場合は、受容性は（自分の家の隣の場合よりも）高くなった。しかし、この場合、リスク情報および安全対策情報を提供しても受容性が高くなるとは言えないという結果になった（図3-7-1）。これは、水素ステーションを危険なものと認識していないかった市民のうち、これらの情報を目にした初めて「恐怖」が喚起された人が一定数いることの表れである。ウェブ調査では、この恐怖喚起の傾向は、受け入れられるリスクレベルが同時に示されたとしても変わらなかった。



\*問題ないと答えた割合は、「どちらかと言えば問題でない」と答えたものを含む

図3-7-1 リスク情報・安全対策情報の提供有無が受容性にもたらす効果の測定（対面式アンケート調査による）。回答者は「燃料電池車を持っておらず、当面買う予定もない」との前提。

### 3-8. まとめ

有機ハイドライド型水素ステーションのスクリーニング評価および詳細リスク評価を実施した。発生確率解析、ハザード評価、脆弱性推定、被害・リスク評価の各手法を確立するとともに、リスク評価の結果を提示した社会受容性調査を行った。

リスク評価の結果、現行法で十分にリスク低減がなされていることを確認できた一方で、離隔距離や障壁高さなどの規制見直しの可能性も示唆された。水素ステーションのリスクの値を定量的に求めた研究は日本では初であり、それをリスククライテリアと比較することで、現行の離隔距離や技術基準などの規制はどの程度の安全を担保するものなのかを具体的に評価できたことに意義があると考える。

事業者が行うリスクコミュニケーションへの示唆として、次のことが言える。事業者が

水素ステーション建設の際に近隣住民に説明することは必須であり、特に、隣の敷地の住民には、リスク評価の結果を示すことは有効であると解釈できる。

### 3-9. 今後の課題

#### (1) 技術的課題

本書での評価には多くの前提や仮定が含まれており、結果を解釈する際にはこの点に留意する必要がある。また、これらをより現実に即した確からしいものに更新していくことが必要である。

##### 1) リスク評価のシナリオ

本書では、有機ハイドライド型水素ステーションにおける水素、トルエンやメチルシクロヘキサンの漏洩事故に関するリスクを定量化した。本書で取り扱った事故シナリオは、想定される中でも主要なものと思われるものの、カバーできていないリスク事象があり、これらの事象の対象の可否、評価方法については今後の課題である。たとえば、自然災害（大規模地震、洪水等）により連鎖的に生じた漏洩・火災については本書で取り上げていない。

また、故意に起こる事故（テロ等）は事故頻度推定が困難なため、本書で取り上げていない。さらに、爆発に起因する構造物の破壊の波及影響（構造物の破片被弾による死傷リスクや、構造物破損によって財産が失われるリスク等）についても取り上げなかった。構造物破損については、影響を金銭価値化することによって費用対効果分析を行うことは意義があると思われるが、これも今後の課題である。

##### 2) 解析に用いた情報の更新

水素ステーションが社会に普及し、事故データベースの情報が蓄積してきた場合、漏洩頻度・事故頻度の推定プロセスにおいてベイズ更新が必要となる。漏洩頻度推定の元になった日本の事故データベースのデータを定量的リスク評価に適用するには、データの分類の際に大胆な仮定を置く必要があった。今後、漏洩径や漏洩規模に関する情報等を事故データベースに登録する仕組みなどが望まれる。また、水素ステーションの構成機器の素材や形状、構造などに技術革新があれば、現実に即した値で再計算が必要となる。

##### (2) 評価結果の活用

水素ステーションのリスクの値を定量的に求めた事例は日本では初めてであり、それをリスククライテリアと比較することで、現行の規制で担保できている安全レベルについて、本書において定量的に評価した。その結果、リスクの観点からは現行規制は十分に安全であり、離隔距離や障壁高さなどの規制見直しの可能性も示唆された。また、水素ステーションの新たな建設等について一般市民に説明する際に、この評価結果を活用する仕組みづくりが求められる。

#### 4. 外部発表実績

##### (1) 論文発表

<査読付き> 5件

- (1) 木原、牧野、小野、佐分利、久保田、恒見、和田（産総研）、有機ハイドライド型水素ステーションの漏洩頻度のベイズ推定、安全工学 Vol.55 No.4, 2017/08/15
- (2) K. Tsunemi, K. Yoshida, M. Yoshida, E. Kato, A. Kawamoto, T. Kihara and T. Saburi (AIST), Estimation of consequence and damage caused by an organic hydride hydrogen refueling station, Int.J.of Hydrogen Energy42、2017/09/25
- (3) 小野、恒見（産総研）、日米欧における水素ステーションのリスク管理手法の比較、日本リスク研究学会誌, 27(2) pp.63-69、2018/5/25
- (4) 吉田、吉田（産総研）、有機ハイドライドおよびその脱水素体による水素ステーション周辺住民への慢性健康影響リスクの推定、環境科学会誌, 31(4) pp.164–177、2018/7/31
- (5) K. Tsunemi , K. Yoshida, T. Kihara, T. Saburi and K. Ono, Research Institute of Science for Safety and Sustainability, Screening-Level Risk Assessment of a Hydrogen Refueling Station that Uses Organic Hydride, Sustainability 2018, 10(12)、2018/11/28

<査読なし（総説等含む）> 3件

- (1) 恒見（産総研）、有機ハイドライド型水素ステーションのスクリーニング段階のリスク評価、水素エネルギーシステム 42-3、2017/09/30
- (2) 小野（産総研）、WHTC2017 参加報告会（5）安全性評価、リスク関連について、水素エネルギーシステム 42-3、2017/09/30
- (3) 小野（産総研）、有機ハイドライド型水素ステーションの定量的リスク評価、高圧ガス 56(1)、2019/01/01

##### (2) 学会、展示会等発表

<口頭発表> 国内 1 1 件、海外 1 件

（国内発表）

- (1) 木原、牧野、佐分利、和田（産総研）、エネルギーキャリア(MCH)ステーションにおけるイベントツリー解析、第 48 回安全工学研究発表会、新潟、2015/12/4
- (2) 吉田、吉田（産総研）、化学物質漏洩に伴う急性健康被害範囲の推定と避難可能性の検討、環境科学会 2016 年会、神奈川、2016/9/9
- (3) 恒見、吉田、吉田、加藤、川本、木原、佐分利（産総研）、有機ハイドライド型水素ステーションのリスク評価枠組み構築、日本リスク研究学会第 29 回年次大会、大分、2016/11/27
- (4) 小野、恒見（産総研）、日米欧の水素ステーションに関するリスク管理手法の比較、日本リスク研究学会第 29 回年次大会、大分、2016/11/27

- (5) 木原、牧野、佐分利、久保田、和田（産総研）、MCH をエネルギーキャリアとする水素ステーションにおける漏洩頻度のベイズ推定、第 49 回安全工学研究発表会、茨城、2016/12/1
- (6) 小野（産総研）、化学プラントにおける定量的リスク評価方法および水素ステーションへの適用事例、火薬学会 第 41 回爆発安全専門部会、東京、2017/06/08
- (7) 恒見（産総研）、水素エネルギーキャリアのスクリーニング段階のリスク評価、安全工学シンポジウム 2017、東京、2017/07/05
- (8) 恒見、木原、佐分利、吉田（産総研）、有機ハイドライド型水素ステーションのスクリーニングリスク評価、日本機械学会 2017 年度年次大会、埼玉、2017/09/04
- (9) 木原、牧野、小野、佐分利、久保田、恒見、和田（産総研）、ベイズ推論による有機ハイドライド型水素ステーションの漏洩頻度推定、日本リスク研究学会第 31 回年次大会、福島、2018/11/10
- (10) 恒見、吉田、木原、小野、佐分利（産総研）、有機ハイドライド型水素ステーションのリスク評価、日本リスク研究学会第 31 回年次大会、福島、2018/11/10
- (11) 木原、小野、久保田、和田、恒見（産総研）、移動式水素ステーションにおける水素漏洩頻度のベイズ推定、第 51 回安全工学研究発表会、石川、2018/11/30

(海外発表)

- (1) K. Tsunemi, E. Kato, A. Kawamoto, T. Kihara, K. Yoshida, M. Yoshida and K. Ono (AIST), Screening Risk Assessment of Energy Carrier of Hydrogen in a Hydrogen Refueling Station, SRA Asia 2018, 2018/03/14

<ポスター発表> 海外 6 件

- (1) K. Tsunemi, E. Kato, A. Kawamoto, T. Kihara and T. Saburi (AIST), Risk estimation to humans on hydrogen fueling station and surrounding area, SRA 2016 Annual Meeting, San Diego, 2016/12/12
- (2) K. Tsunemi, E. Kato, A. Kawamoto, T. Kihara, K. Yoshida, M. Yoshida, T. Saburi, and K. Ono (AIST), Screening assessment of individual risk of hydrogen refueling station using organic hydride, THE 7th WHTC, 2017/07/10
- (3) K. Ono and K. Tsunemi (AIST), Did risk and benefit information change acceptance on hydrogen fueling stations for Japanese general people?, THE 7th WHTC, 2017/07/10
- (4) K. Ono and K. Tsunemi (AIST), Risk perception on hydrogen fueling stations for Japanese public with risk and benefit information, 2017 SRA Annual Meeting, 2017/12/11
- (5) K. Ono, E. Kato, and K. Tsunemi (AIST), Public acceptance on hydrogen fueling stations for Japanese general people – Quantification of acceptance with and without risk information –, SRA Asia 2018, 2018/03/13

- (6) K. Ono, E. Kato, and K. Tsunemi (AIST), Public acceptance on hydrogen fueling stations with and without risk information, 2018SRA Annual Meeting,  
2018/12/03

<展示会、ワークショップ、シンポジウム等> 国内 11 件

- (1) 佐分利（産総研）、水素ステーションでの大規模漏えいによる爆風被害リスク評価、  
水素の燃焼と爆発ワークショップ、岐阜、2016/08/22
- (2) 恒見（産総研）、水素エネルギー・環境シンポジウムシリーズ 安全科学研究部門講演会、東京、2017/01/27
- (3) 牧野、木原、鈴井、久保田、和田（産総研）、水素エネルギー・環境シンポジウムシリーズ  
(1)－発生確率と QOL－、平成 28 年度産総研エネルギー・環境シンポジウムシ  
リーズ 安全科学研究部門講演会、東京、2017/01/27
- (4) 佐分利、加藤、川本、木原、久保田、恒見（産総研）、水素エネルギー・環境シンポジウムシリーズ  
(2)－爆発によるヒトのリスク評価－、平成 28 年度産総研エネルギー・  
環境シンポジウムシリーズ 安全科学研究部門講演会、東京、2017/01/27
- (5) 吉田、吉田（産総研）、水素エネルギー・環境シンポジウムシリーズ  
(3)－化学物質漏洩  
のリスク評価－、平成 28 年度産総研 エネルギー・環境シンポジウムシリーズ 安  
全科学研究部門講演会「水素社会に向けての評価研究」、東京、2017/1/27
- (6) 小野、恒見（産総研）、企業の自主管理をリスク評価で支援する-災害・事故・化学物  
質のリスク評価技術の開発-、産総研テクノブリッジフェア 2017 in つくば、つくば、  
2017/10/19
- (7) 恒見、木原、加藤、川本、吉田、佐分利、吉田、牧野（産総研）、水素エネルギー・キ  
ャリアのリスク評価－水素ステーションのスクリーニング評価－、平成 29 年度产  
総研エネルギー・環境シンポジウムシリーズ 安全科学研究部門講演会、東京、  
2018/01/23
- (8) 小野、恒見、木原、加藤、川本、吉田、吉田（産総研）、水素エネルギー・環境シンポジ  
ウムシリーズ 安全科学研究部門講演会、東京、2018/01/23
- (9) 小野、恒見（産総研）、災害・事故・化学物質のリスク評価～企業の自主管理をリス  
ク評価で支援する～、産総研テクノブリッジフェア 2018 in つくば、つくば、  
2018/10/25
- (10) 恒見、小野、木原、加藤、川本、吉田、佐分利、久保田、吉田、牧野、和田（産総  
研）、水素ステーションのリスク評価と社会受容性調査—I：リスク評価の目的と方  
法－、平成 30 年度产総研エネルギー・環境シンポジウムシリーズ 安全科学研究部  
門講演会、東京、2019/01/22
- (11) 恒見、小野、木原、加藤、川本、吉田、佐分利、久保田、吉田、牧野、和田（産総  
研）、水素ステーションのリスク評価と社会受容性調査—II：評価結果と社会受容性  
－、平成 30 年度产総研エネルギー・環境シンポジウムシリーズ 安全科学研究部

講演会、東京、2019/01/22

(3) プレス発表  
なし

(4) マスメディア等取材による公表  
なし

5. 特許出願実績  
なし

6. 参考文献  
「3. 研究実施内容」に記載