事故経験の有効活用による原子力発電の安全性向上

To Improve Nuclear Plant Safety by Learning from Accident's Experience

松本 英三 (Hidezo Matsumoto)* 木田 正則 (Masanori Kida)*
加藤 啓之 (Hiroyuki Kato)* 原 信一 (Shin-ichi Hara)*

要約 この研究の究極の目標は，事故の経験（記録，情報）を原子力の安全性の向上に，有効適切に役立てるための expert system の実現である．

事故の経験（記録，情報）を自社の原子力発電所の管理ないしは運転に反映し，安全性の向上に役立てている，国内外の多数の実例を調査し，この作業の標準となる「基本フロー」を作成した．この「基本フロー」を AI 化することによって最終目標が達成されるのであるが，そのためには，

(1) screening にかける 2 次データベースを源情報（1 次データベース）から作成すること，

(2) screening を実行する expert system を実現することが必要となる．

(1) において，源情報（1 次データベース）は多言語であるから，原子力用多言語シソーラスが必要である．また (2) においては，例えば，重要度の判断のために PSA を援用することが望ましいであろう．

このように，目標の達成には多くの新しい技術の開発が必要である．本研究報告は，上記の長期的研究プロジェクトの第一段階として，まず，基本フローの提案を行い，これを実行するための原子力 AI の概念を提示したものである．

キーワード 事故の経験，エキスパートシステム，スクリーニング，言語解析，原子力用多言語シソーラス，原子力用 AI

Abstract The ultimate goal of this study is to produce an expert system that enables the experience (records and information) gained from accidents to be put to use towards improving nuclear plant safety.

A number of examples have been investigated, both domestic and overseas, in which experience gained from accidents was utilized by utilities in managing and operating their nuclear power stations to improve safety. The result of investigation has been used to create a general "basic flow" to make the best use of experience.The ultimate goal is achieved by carrying out this "basic flow" with artificial inteligence (AI).

To do this, it is necessary

(1) to apply language analysis to process the source information (primary data base; domestic and overseas accident's reports) into the secondary data base, and

(2) to establish an expert system for selecting (screening) significant events from the secondary data base.

In the processing described in item (1) , a multi-lingual thesaurus for nuclear-related terms become necessary because the source information (primary data bases) itself is multi-lingual. In the work described in item (2), the utilization of probabilistic safety assessment (PSA), for example, is a candidate method for judging the significance of events. Achieving the goal thus requires developing various new techniques.

As the first step of the above long-term study project, this report proposes the "basic flow" and presents the concept of how the nuclear-related AI can be used to carry out this "basic flow".

Keywords accident's experience, expert system, screening, language analysis, multi-lingual thesaurus, nuclear-related AI

*技術システム研究所 原子力情報部門

1. はじめに

過去に経験された事故について，その原因や経緯に関する情報を，発電所の設計，建設，運転及び保守に，適切に反映し，活用すれば，安全性の一層の向上を期待できるのではないか，という意見がある．

従来から，事故情報に限らず，日常の経験を活用する努力はなされてきたのであるが，どうすれば，それを格段に効果的にすることができるであろうか．

内外の現状を調査してみると，例えば，米国の電力会社では，運転経験の分析が組織的に行われ，それを実地の運転に反映した例も，わが国に比べるとかなり多い．この調査結果から，事故情報を含む経験情報を活用するためのシステムの概念設計を導く事が出来るであろう．それは，究極においては，一つの エキスパートシステム あるいは人工知能となるであろう．

内外の発電所から得られた事故情報からデータベースを構築しておけば，ある起因事象に対して発電所の系統機器がどのような挙動をするかを予測(推論) して，運転員にリアルタイムの支援を提供する エキスパートシステム が実現できる可能性が考えられる．しかし，この研究の目的は，むしろ，冒頭に述べたような，熟慮する人工知能である．

2. わが国の現状

わが国では，電力中央研究所原子力情報センター(以下「NIC」という)．および各電力会社が原子力発電所で発生した事故情報等の収集および分析・評価を行っている．

以下に、NIC および国内電力会社の原子力情報の活用の現状について述べる．

2.1 NIC における情報活用の現状

NIC が収集している国内事故情報には，法律や大臣通達等に基づき通商産業省に報告が義務づけられている事故報告書等がある．[5][6] 一方，国外事故情報には，通信衛星を介して，米国原子力発電運転協会（INPO）の原子力発電情報ネットワーク（NN : Nuclear Network）を通じて入手している NN 情報および世界原子力発電事業者協会（WANO）を通じて入手している事故速報（ENR），事故詳報（EAR）等がある．これらの情報は，電力各社に設置したコンピュータ端末から常時検索できるようになっている．[7][8]

NN 情報ネットワークの提供する情報は，内容によって分類されている．このうち緊急情報（HOT）および運転経験情報（OPE）は，発電所機器の異常や故障等の情報を当該電力会社が INPO–NN へ入力したものである．重要事象情報（SER）および運転保修注意メモ（O&MR）は，電力会社から NRC への事故報告（LER）及び上記の OPE 等から，INPO が，重要な事象または運転や保修上の留意すべき注意事項を取捨選択し，それらに検討を加えたものである．

重要事象評価報告書（SOER）は，INPO が米国内の原子力発電所で発生した異常事象を対象に分析し，特に重要と判断された事象について詳細調査を行い，重要性を指摘した上で，改善策を勧告しているものである．

NIC は，NN 情報を NIC 原子力発電情報システム（NICS）により各電力会社にオンラインで提供すると共に，これら NN 情報の中から予め定められたスクリーニング基準に基づいて重要と判定された事象について，全文を翻訳のうえ，隔週報として各電力会社に配布している．

重要事象を選定するためのスクリーニング基準には，「機器の機能に影響を与えるような損傷，人的被害，環境への悪影響等，プラントに重大な被害を及ぼした事象，あるいは安全保護系機能低下及び圧力バウンダリー機能の低下等，安全性への影響が大きな事象」と指定されている．このため，基準に該当するか否かの判断は，スクリーニング担当者の過去の経験や知識に強く依存する．

なお，スクリーニング担当者は，原子力発電所の運転，保修業務を 10 数年経験したエキスパートで構成されている．

2.2 電力会社における情報活用の現状

国内電力会社では，上記の NICS データベースから国内の事故報告書や海外の INPO 情報を入手すると共に，WANO のネットワークからも事故情報を入手している．

また，これ以外の情報として，NRC 情報 や海外

メーカからの情報を，各電力会社の海外駐在事務所等を経由して入手している．

電力会社は，国内外の事故情報に基づいて，自社プラントでも同様の事故が発生する可能性があるか，安全対策について教訓となる事はないか等，詳細に検討を行って，予防保全に役立てる活動を行っている．

国内外の事故情報の中から自社プラントに反映が必要かどうかの判断は，通常10年程度の運転や保修業務の経験をもった担当者（以下　レビュー担当者という）が，過去の経験と知識および重要事象を選定するためのスクリーニング基準に従って行っている．このスクリーニング基準の定め方は，電力会社によりまちまちで，必ずしも，自動的に適切なスクリーニングを行えるような内容とはなっていない．

レビュー担当者は選定した事象について，スクリーニング会議の前に事前検討として，その事象の発生経緯，原因，影響等詳細な情報を収集したり，自社プラントに反映すべきがどうかについて，発電所やメーカの意見聴取を行っている．

スクリーニング会議では，事象に関係する専門家（例えば運転，機械，電気，計測制御，設計，化学のエキスパート）が参加し，自社プラントに反映が必要か否かが議論される．

スクリーニング会議で，自社プラントに反映が必要と判断されると，さらにその具体的な反映方法について，発電所等の専門部門（例えば保修課，運転室，放射線管理課等）で詳細検討が行われ，その上で反映が可能となれば，最終的に実行されることになる．

国内の電力会社の中には，この専門部門での詳細検討結果について，再確認するための確認会議を設けているところがある．

なお，各電力会社とも年間に入手している情報件数は数百件程度であり，このうち詳細検討を行い，設備改善，マニュアルの変更等，自社プラントに反映している件数は，年間数件程度と非常に少ないのが現状である．

3.　米国の現状

米国では，各電力会社がINPOの会員となって，NNを通じて原子力発電所で発生した事故情報の提供および収集を行っている．INPOおよび米国電力会社の原子力情報の活用の現状について調査した結果は以下の通りである．

3.1　INPOにおける情報活用の現状

INPOでは，加盟電力会社および国際参加機関が会員となり情報ネットワークシステムを運用している．(7)　この情報ネットワークシステムの目的は，原子力発電業界全体の運転経験を各発電所に知らせることによって，原子力発電所の安全性および信頼性を高めることである．

情報ネットワークシステムは，発電所の運転経験に関する情報の入手から始まる．情報の種類の主なものは次の通りである．

1. 各電力会社からNRCへの事故報告（LER）
2. 電力会社からのNuclear Networkへの発電所運転経験の入力
3. 事故，異常事象予備通知（NRCの各地方事務所は重要と判断した事象または公衆の興味を集めた事象を事故，異常事象予備通知として発行している．）
4. NRCのInformation Notice, BulletinおよびGeneric letter
5. NRCの米国原子力発電所運転日報
6. AEOD報告書
7. 関係供給業者からの情報

INPOが入手した情報は，まずEvent Tracking Systemというコンピュータシステムに入力される．このシステムの主な用途は管理と検索である．

INPOが入手した情報のスクリーニングに先行して，2つの互いに独立した部門でレビューが行われる．

第1のレビュー部門は，事象が重要であるかどうかを判断する．このレビュー部門で重要とみなされなかった事象は，第2のレビュー部門に廻されて再評価される．すなわち，ダブルチェックできるシステムを採用している．どちらか一方のレビュー部門

で，重要であるとみなされた事象は，スクリーニング会議に廻される．

スクリーニングにあたっては，スクリーニング基準に基づいて重要度の判断が行われる．このスクリーニング基準には，異常なプラントの過渡変化，安全系の故障，主要機器の損傷等が設定されている．スクリーニング会議は，週1回開催され，数件程度の事象案件が付議される．

スクリーニング会議で重要と判断された事象は，SOER，SER，重要事象通知（SEN）等に分類され原子力産業界に周知される．

3.2 電力会社における情報活用の現状

米国の電力会社は，NRC および INPO の情報を入手し，それぞれの情報について自社のプラントに反映が必要かどうか判断を行っている．種々ある情報の中でも特に，SER，SOER については，これを重視して対応を検討している．どの電力会社においても入手情報のスクリーニングは，10 数年程度の運転・保修業務を経験したエキスパートからなる専門部門で行われている．スクリーニング基準については，予め基準を作成し，それに基づいて判断している会社と，基準を作成せず，専ら担当者の判断に委ねている会社がある．

なお，電力会社の自社プラントに反映される件数は，年間数百件程度と非常に多いが，その内訳をみると，大きな設備改造はほとんどなく，運転保修マニュアルの変更や軽微な機器保修が多い．

4. ヨーロッパの現状

ヨーロッパについてはドイツ，イギリス，スウェーデン，スイスの電力会社の原子力情報の活用の現状を調査した．

各電力会社とも国内情報，INPO 情報，IAEA 情報，WANO 情報 および NRC 情報 を収集している．

重要事象のスクリーニングは，ドイツについてはわが国の NIC に相当する専門機関（VGB）で実施され，その結果が電力会社へ連絡されている．その他の国では発電所の運転部門が中心となり実施されている．その体制は，数名からなる情報分析のための専門部門を有している電力会社と，専門部門ではなく通常業務組織で実施している電力会社がある．

専門部門でスクリーニングを実施しているメンバーは，10 年程度の運転保修業務の経験を持っている． また，スクリーニングのための基準を設けている電力会社とレビュー担当者の経験と知識により判断している電力会社があった．

なお，自社プラントへの反映件数は，年間数 10 件程度であった．

5. 事故・故障情報の活用のためのシステム

理想的な事故・故障情報の活用のための分析・評価体制および方法は，その電力会社の組織や規模等によっても違ってくると思われる．この報告書で取り扱うシステムは，一般性を旨とした，概念的なものである．

国内外の調査結果をもとに事故・故障情報の入手から分析・評価の一連の作業を検討し，有効と思われる基本フローを図 1に示す．

図 1の最上部に示されている INPO，NRC，WANO および国内他電力会社の事故・故障情報が，入手する主な情報源である．入手した情報は，コンピュータに登録して一次データベースとする．

まず，第一次レビュー者は，入手した情報の中から自社プラントでも再発する可能性があるか，教訓となる事はないかなど自社プラントへの反映の要否を検討する．反映否のものについては，次の独立した部門の第二次レビュー者に廻され，ここで第三者的立場での検討が行なわれ重要事象が漏れなく摘出されるようにする．

第一次および第二次レビュー者は，判定の結果が，レビュー者の個人的な知識や経験などに過度に依存しないように，予め慎重に定められたスクリーニング基準を活用することが望ましい．スクリーニング基準としては，例えば次に示す「重要度」と「適用度」の2つの分類で構成することが考えられる．

1.「重要度」分類に属するもの

(a) 苛酷または異常なプラント過渡変化

(b) 安全系の故障または動作不良

(c) 主要機器の損傷

(d) その他の原子力の安全性やプラントの信頼性に関する事象

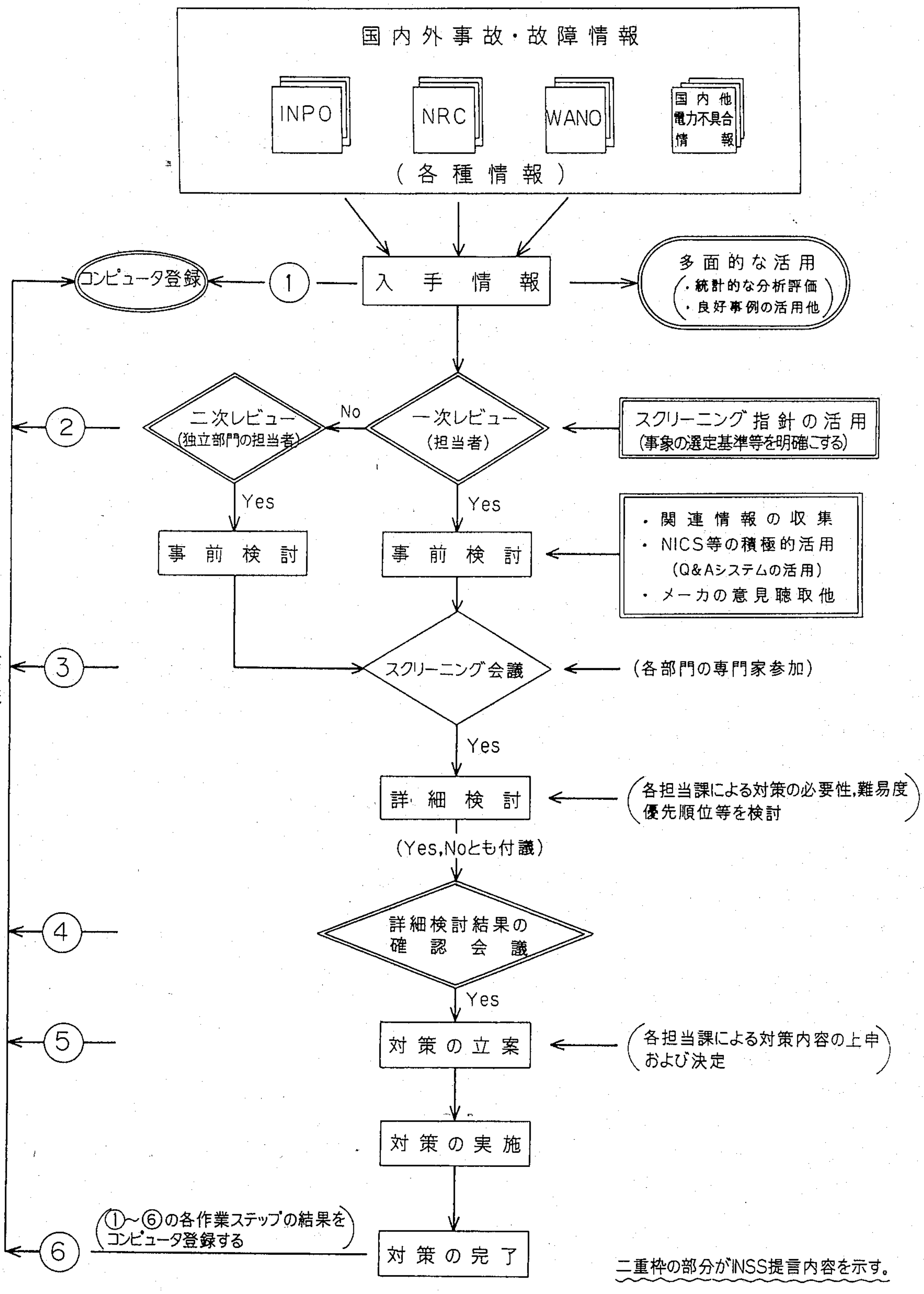

図1　国内外事故・故障情報の活用基本フロー

(e) 設計，解析，運転，保修，試験，手順書，訓練における不具合の発生

(f) 燃料の取扱いや貯蔵における事故

(g) 過剰被ばくまたは重度の人身事故

(h) 放射性物質の過剰放出

2.「適用度」分類に属するもの

(a) PWR 固有の事象または BWR 固有の事象

(b) PWR，BWR 共通の事象

(c) 機器故障がメーカ固有であり，自社プラントには適用されていない事象

(d) 記述されている環境条件が当該プラント固有の事象

次に，第一次および第二次レビュー者の検討の結果，自社プラントへの反映が必要とされた事象については，その事象に関連する情報，すなわち，事象の発生経緯，原因，影響など詳細な情報の調査を行う．この場合特に，海外プラントで発生した事象については，関連情報が入手しにくいと言った問題があるが，NICS の INPO，WANO ネットワーク等を活用して積極的に情報収集にあたる．

上記で収集した情報をベースに，スクリーニング会議の前にその事象の関連情報を整理し，スクリーニング会議に備える．

スクリーニング会議には，その事象に関係する専門家を参加させ，重要な問題点に焦点を合わせて率直な議論を行い，自社プラントに反映が必要か否かを決定する．

次に，スクリーニング会議の場で，自社プラントに反映が必要と判断されたものについては，発電所等の専門部門で対策の難易度や具体的な改善方法などを詳細に検討する．

上記の詳細検討結果の内容および具体的な改善対策の内容については，各層の関係者の意見を取り入れ，適正な判断に基づき，実施されたかどうかを確認会議で確認することが望ましい．

その後，各担当課で必要な対策を実施することになる．

以上の通り，入手情報を分析・評価し，対策を実施するまでの一連の作業状態をコンピュータ端末機で把握することにより，的確な進捗管理が可能となる．また，これらのデータベースを本店および発電所にオンライン化することにより，各箇所でスピーディな進捗状況の把握ができる体制となるであろう．

6. 人工知能の概念設計

図 1に示す通り，情報の有効活用は，入手情報を解読し，何が起ったかを正確に把握することから始まる．その上で，レビュー担当者の経験と知識に照らして，事象の重要度を判断するのであるが，この活動をソフトウェアする，すなわち人工知能化するのが，この研究の究極の目標である．図 2に人工知能を取り入れたシステムのイメージを示す．

まず，われわれが最初に遭遇する問題点を列挙してみる．(1)(3)

1. 図 1の最上部に示されている情報源（1次DB）は，主として英語および日本語で書かれており，また情報提供者の経験，知識，専門分野等により，それぞれ固有の用語および構文で構成されている．特に原子力発電技術分野の専門用語についてみると，情報提供者によって，それぞれ微妙に異なった用語および構文が使用されている．これを次の作業ステップであるスクリーニングのためのレビューに適した 2 次 DB に変換し，登録する必要がある．また，この 2 次 DB は，次項に述べるエキスパートシステムへの直接入力として取り扱いできるものにすることが望ましい．

2. エキスパートであるレビュー担当者は，情報を入手する都度，この 2 次 DB および自己の経験と知識を参照しながら推論を行い，適切な助言ないしは指示を発する，すなわちアウトプットするのである．これに代わるソフトウェアシステムは，いわゆるエキスパートシステムでなければならない．われわれは，このシステムを構築しようとするものである．(3)

7. 今後の課題

1 次 DB から 2 次 DB を作る作業は，本質的に言語処理である．従って，辞典とシソーラスをつくる作業が必要になるだろう．(2)(4)

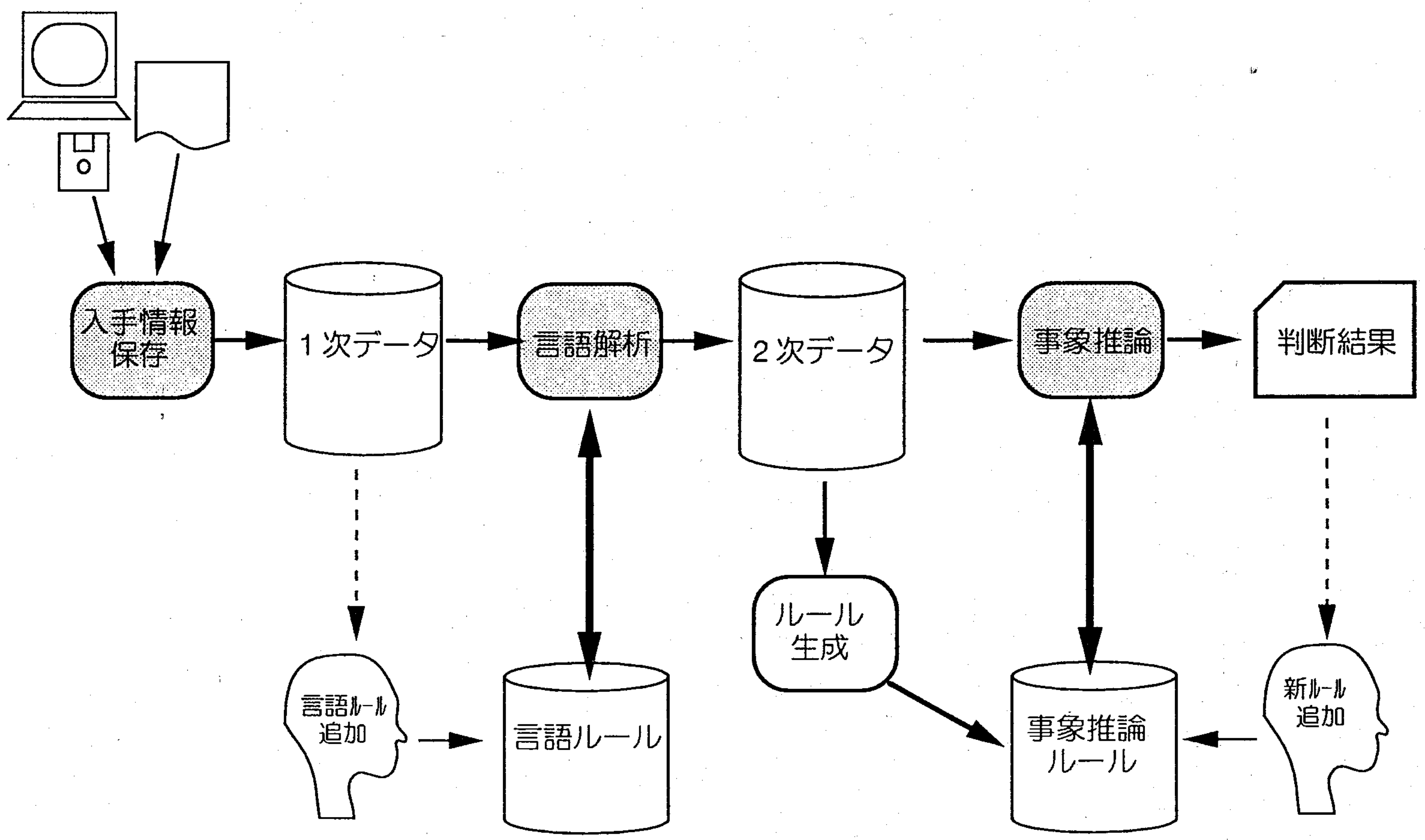

図2　人工知能を取り入れたシステムのイメージ

すなわち，１次DBの記述を通常の言語解析の方法である構文解析あるいは形態素解析の方法で，そして通常の辞書で２次DBの要求する記述に変換することは一般に困難であって，専用の広かんな大規模辞典が必要となるだろう．(4)

１次DBは複数の言語によって，従ってそれぞれのsafety cultureとbackgroundをもって記述されているので，この辞典は，本質的に多国籍でなければならないと考えられる．果たして前例があるかどうか．

情報検索の目的に使えるためには，シソーラスは不可欠である．(4) 言葉の意味には広がりがあり，また言語によって，訳語と内容が有意に異なる．従って，シソーラスも，おそらく前例のない，多言語シソーラスとならざるを得ないであろう．

レビュー担当者の知的活動を分析し，その論理モデルを発見する事が，われわれのエキスパートシステム設計の第一着手点であると考えられる．その働きは，情報の評価を行って効果の期待できる指示を導き出す事である．このシステムはルールベースやプロダクションモデルによるエキスパートシステムとなるであろう．(3)

さらに，事象の重要度を定量的に評価する確率論的安全評価（PSA）手法を人工知能に組み込むことも考えられるが，それは，未知の世界かもしれない．

参考文献

(1) 長尾真：知識と推論，　岩波講座ソフトウェア科学14，岩波書店 1988

(2) 長尾真：言語工学，人工知能シリーズ2，昭晃堂 1988

(3) 上野春樹：知識工学入門，オーム社 1985

(4) 長尾真監修：日本語情報処理，電子情報通信学会 1984

(5) 電気事業法第106条　電気関係報告規則第3条　原子炉等規制法第67条　実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則第24条第2項

(6) 昭和52年3月3日付け52資庁第2311号による通商産業大臣通達

(7) 電力中央研究所　中目和夫他：原子力発電情報高度活用システム，　原子力工業　vol.39　No.10　1993

(8) WANO東京センター　十倉啓輔：WANO(世界原子力発電事業者協会)におけるデータベースの利用，　原子力工業　vol.39　No.10　1993