

本資料は英語原文の資料を原子カリスク研究センターにて仮訳したものです。

重要な所見と課題

George Apostolakis

電力中央研究所（CRIEPI）原子カリスク研究センター所長

NRRC Workshop on

Risk-Informed Decision Making: A Survey of U.S. Experience

Tokyo, Japan, June 1-2, 2017



外部の影響

- 規制当局は、その性質上、保守的である
- 大規模な変更は通常、以下のような外部の介入を必要とする
 - John Pastore 上院議員が米国原子力委員会に宛てた書簡(1971年)
 - 「産業界及び公衆のために、原子炉の安全性において何が事実であるのかについて明快に整理することを目的として、(原子炉の安全側面の)包括的な評価が行われるべきと本委員会委員は示唆した」
 - 成果:原子炉安全研究(1974年)
 - Shirley Jackson NRC委員長
 - 規制ガイド(RG)1.174「許認可ベースのプラント固有の変更に関する、リスク情報を活用した意思決定に確率論的リスク評価を使うためのアプローチ」(1997年)



原子炉安全研究

□ 主な調査結果:

- 支配的な寄与因子: 小破断LOCA及び(大破断LOCA以外の)過渡事象
- これまで考えられていたものを上回る炉心損傷頻度(CDF)
(最適評価: 5×10^{-5} 、20,000年に1回、上限: 3×10^{-4} / 炉年、3,333年に1回)
- 影響は想定していたものより相当小さい

□ サポート系及び運転員の行動は極めて重要である

- 補助給水系は当時は安全グレードの系統ではなかった
- 研究プログラムが世界各国で立ち上げられた

□ 結論: 従来の「決定論的」方式は不完全である



産業界：ザイオン原子力発電所と インディアンポイント原子力発電所のPRA

- ベイジアン法を明示的に採択
- 火災と地震がリスクの重要な寄与因子であることが証明された
- 綿密な格納容器応答解析
- 大気拡散解析
- PRAはプラント固有であるべき
 - 単純なプラント改善措置が特定された
- 公聴会において理解が得られ、高額なプラント改良の回避ができた



初期の課題

□文化的問題

- 原子力及び機械エンジニアは確率及び統計学の訓練を受けていない
- 規制における従来の「決定論的」アプローチを捨て去ることは容認しがたい
- 従来のアプローチには、「決定的なところ」が何もない
- このアプローチは主観的なバウンディング解析を用いて不確実性を処理する

□訓練コースの確立

□個別プラント評価 (IPE) 及び外的事象に対する個別プラント評価 (IPEEE) プログラムの確立



規制活動

- NRCは1997年まで、PRAの所見に基づいて規制要件を交付した（例えば、全電源喪失（SBO）及び原子炉停止機能喪失事象（ATWS））
- PRAにより、いくつかの要件が安全に寄与せず、コスト高であることが証明される場合でも、規制緩和は許可されなかった
- これは、PRA政策声明（1995年）及び RG 1.174（1997年）の交付に伴って変わった



政策声明(1995年)

- **最新技術及びデータによって裏付けられる範囲で、且つ、深層防護の考え方を補完する形で、PRAの利用は増進されなければならない**
- **現行の規制上の要求、規制上の指針、許可に基づく責任及び職員の慣行に関連した**不必要な保守性が抑制**されるよう、最新技術の限度内において実行可能である場合、PRA及び関連する解析(例えば、感度解析、不確実さ解析及び重要度測定など)を規制事項において使用しなければならない**
- **規制上の決定を裏付けるPRAの評価は、実行可能な限り**現実的**であるべきである**



不要な規制負担の排除

- RG 1.174は、リスク情報を活用した意思決定(RIDM)を創出
 - 深層防護及び安全裕度はリスク的洞察と主観的に結合される

- リスク情報を活用した(RI)イニシアティブは自主的
 - 事業者は、コストと便益のトレードオフを使ってこれを採用するかどうかを決定する

- 1997年以降の活動は、一部の国民に、リスク情報を活用した規制は規則を弱体化させる手段であるという誤った印象を創出した



安全目標(1986年)

- PRAは、「どの程度の安全が、十分に安全なのか」という疑問を提起した
- NRCは、安全目標の確立は、規制基準に対する**公衆の理解**と、原子力発電の安全性に対する公衆の**信頼を高める**ことになると信じていた
- 安全目標は目標であり、基準ではない
 - 安全目標は、安全強化の必要を確認する際の参考点として用いられるべきである(バックフィット規則)
 - 安全目標(CDF及び早期大規模放出頻度(LERF))は、リスク情報を活用した許認可ベースの変更の基盤として用いられる(RG 1.174)



PRAの品質

- PRAは判断を明確に定量化する。従来の手法ではこれができない。
- PRAの品質はたいてい問題にされるが、「決定論的」判断の品質は問題にされない
- 従来の「決定論的」判断の多くは、以下の点で不完全であることが証明されている
 - 人的過誤及びサポート系の重要度を重視していない
 - 外的事象の重要度を過小評価している
 - 全電源喪失の重要度を重視していない
 - 低出力運転のリスク重要度を過小評価している



PRA標準

- 米国機械学会(ASME)及び米国原子力学会(ANS)は、PRA標準の策定及び維持に向けて原子力リスクマネジメント合同委員会(JCNRM)を結成した。
- 2013年に改訂された「ASME/ANS RA-S-2008」は、現在JCNRMが維持している
- 同書には、LWRについて、出力レベルでの内的事象に対するレベル1 CDF及びLERF PRA標準及び、出力レベルでの外的ハザード及び内部火災に対する標準が記載されている
- この標準では、「どのように」ではなく、「何が成されるべきか」を定義付けている
- 規制当局によるPRAの技術レビューの必要を低減する意図で、米国原子力エネルギー協会(NEI)はピアレビュープロセスを策定した



リスク情報を活用したイニシアティブ

- 規制ガイド1.174は基本原則を定義付けている
- 同ガイドは、「統合意思決定プロセス」を定めている
- 深層防護・安全裕度の考え方と、リスクの変更の主観的統合
- リスク情報を活用したアプローチによって、若干のリスク増大が許容可能になった。これは文化面での大きな課題であった
- RIイニシアティブは自主的であり、事業者は、その意思決定においてコスト及び便益を重視する



詳細図 (INSAG 25)

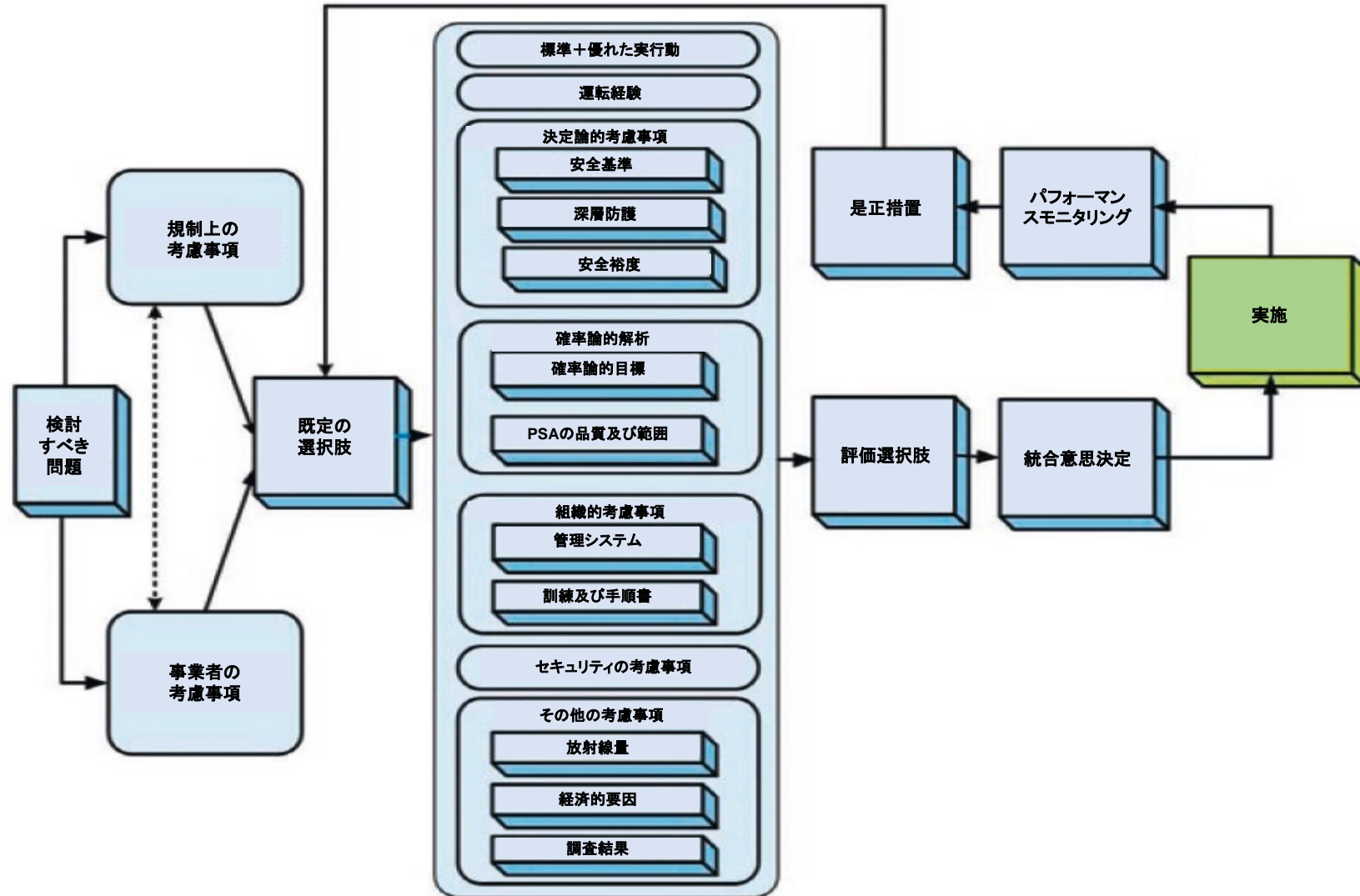
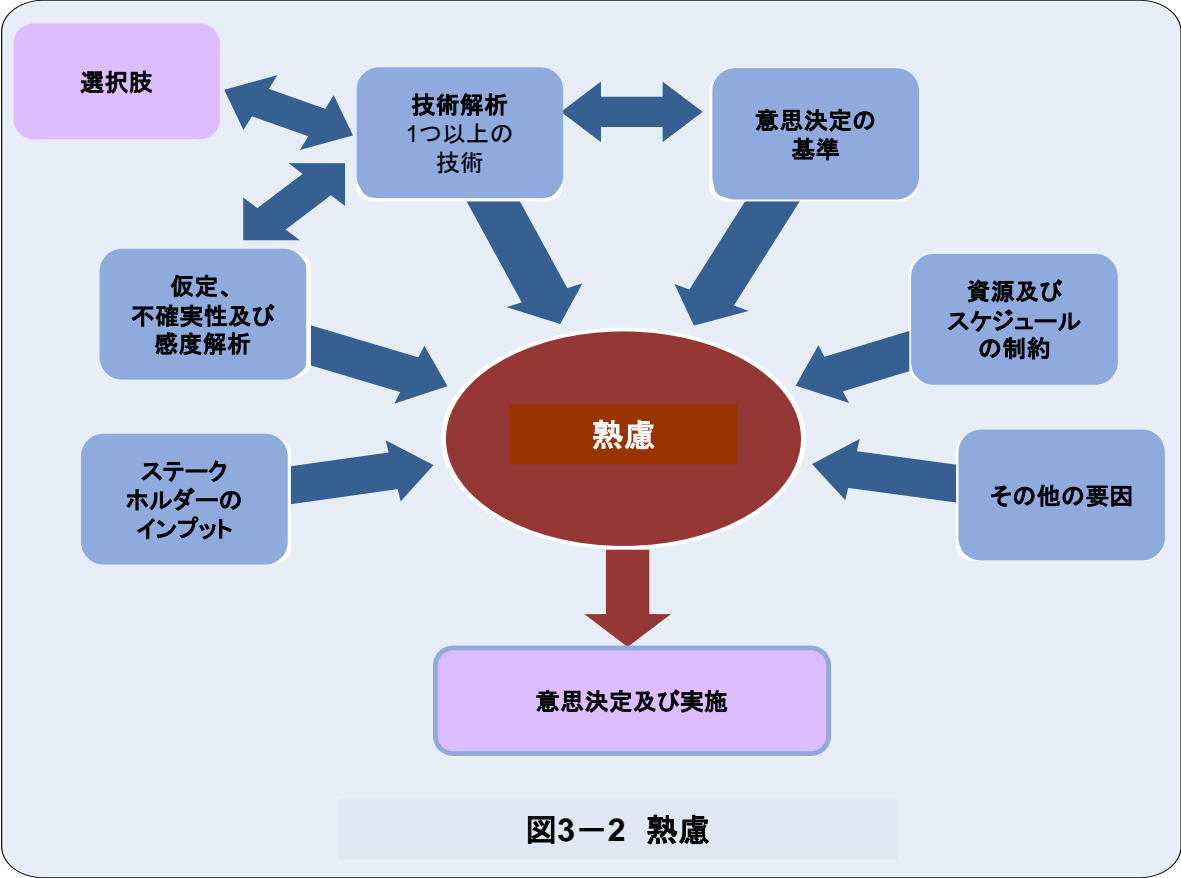


図1 リスク情報を活用した統合的意思決定プロセスの主要要素

多面的な検討に基づく意思決定



NUREG-2150

図3-2 熟慮

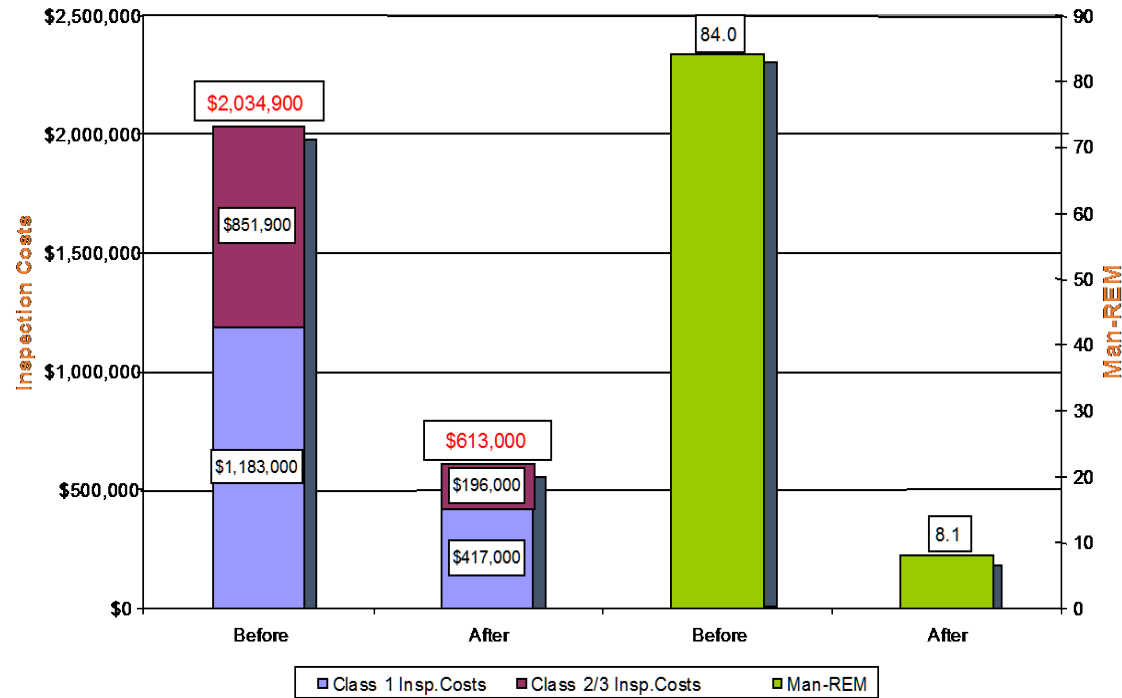
プラントパフォーマンスの客観的評価： ROP規制対応マトリクス

		事業者対応カラム	規制当局対応カラム	コーナーストーン低下カラム	複数の／反復的コーナーストーン低下カラム	許容不能パフォーマンスカラム	
結果		評価インプット(パフォーマンス指標(PI)及び検査指摘事項)が緑、コーナーストーンの目標が全面的に達成されている	戦略的パフォーマンス分野の(異なるコーナーストーンにおける)1つまたは2つのインプットが白、コーナーストーンの目標が全面的に達成されている	戦略的パフォーマンス分野のコーナーストーンの1つが低下(インプット2つが白またはインプット1つが黄色)若しくは戦略的パフォーマンス分野のインプット3つが白、コーナーストーンの目標は達成されており、安全裕度の僅かな低下が見られる	コーナーストーンの反復的低下、コーナーストーンの複数の低下、インプットが複数黄色または、インプット1つが赤 ¹ ；コーナーストーンの目標は達成されており、長期的な問題または、安全裕度の僅かな低下が見られる	全体的に許容不能なパフォーマンス。この状態でのプラント運転は許可されない。許容不能な安全裕度	
	対応	規制当局の会議	上級常駐検査官(SRI: Senior Resident Inspector)による定期的な意思疎通	支部長(BC)または部門長(DD)と事業者の会議	DDまたは地域局長(RA)と事業者の会議	運営総局長(EDO)(または委員会)と事業者の上級管理職の会議	委員会と事業者の上級管理職の会議
		事業者の行動	事業者の是正措置	NRCの監督を伴う、事業者の是正措置	NRCの監督を伴う、事業者の自己評価	NRCの監督を伴う、事業者のパフォーマンス向上計画	
		NRCの検査	リスク情報を活用した基本検査プログラム	基本検査及び補足検査 95001	基本検査及び補足検査 95002	基本検査及び補足検査 95003	
		規制当局の行動	なし	評価書簡の中で、低下分野に対する対応を文書で記録	評価書簡の中で、低下分野に対する対応を文書で記録	10 CFR 2.204 DFI 10 CFR 50.54(f)書簡 CAL/Order	認可された活動の修正、一時中止または廃止の命令
情報伝達	評価報告書	BCまたはDDによる評価報告書のレビュー／署名(検査計画書を伴う)	DDによる評価報告書のレビュー／署名(検査計画書を伴う)	RAによる評価報告書のレビュー／署名(検査計画書を伴う)	RAによる評価報告書のレビュー／署名(検査計画書を伴う) 委員会への通知		
	公開評価ミーティング	SRIまたはBCと事業者の会議	BCまたはDDと事業者の会議	RAと事業者のパフォーマンスミーティング	EDO(または委員会)と事業者の上級管理職のパフォーマンス討議	委員会と事業者の上級管理職の会議	

¹限られた少数の状況では、この重要度の検査指摘事項は、事業者全体のパフォーマンスを示唆するものでないことが予想される。スタッフは、この検査指摘事項を、適切な行動を決定するための例外として扱うことを検討するものとする。



成功: RI-供用期間中検査 (RI-ISI)



V. Dimitrijevic、短期コース: リスク情報を活用した運転リスクマネジメント、マサチューセッツ工科大学 (2008年)



ある程度の成功：リスク情報を活用した等級別品質保証 (RI-GQA) または 10 CFR 50.69

- かなりの初期投資が必要なため、事業者はリスク重要度分類を徐々に受け入れているのみである
- 分類自体は利益をもたらさない
- 分類を認識するために手順またはプログラムが変更された時、利益が実現される
- RI-GQA プロセスの場合は、プラントの極めて多くの設備に適用できる
- 各機器に対する関連する特別措置要件は全て、特定されることになる。これには、要件の根拠も含まれる
- これには、広範囲に及ぶ資源が不可欠であった



RI-GQAまたは10 CFR 50.69

- IDP(統合意思決定パネル)は、最終的な分類を承認する経験豊富な専門家で構成される、各分野を代表する学際的委員会である
- NRCの職員は、特別措置要件の緩和について懸念を表明した
- この懸念の一部は、設備のパフォーマンスの潜在的低下に関連する、技術的なものであった
- 一部は、事業者の節減したリソースが必ずしも安全に再投資されるとは限らないことを理由とした、哲学的なものでもあった
- 可能なコスト削減額の見積りは若干不確実であった



事業者のRI-GQAに関する意思決定

- 事業者は(サウス・テキサス・プロジェクト(STP)を除き)RI-GQAの追求を躊躇した
- 設備の追加解析及び関連する記録保持は、コストを削減できるかどうか不確実で、負担が大きいと思われた
- この課題は、現在、「原子力に関する公約の実現」に対する産業界の新たな努力の一環として再検討されている
- 発電所の活動の優先順位付け及び監査と検査基準の選定等、リスク重要度分類には規制対象外の適用が複数ある



失敗: リスク情報を活用した供用期間中試験 (RI-IST)

- ASMEを含む共通の基準や規格に関する委員会は、当初の時点で、試験の要件や頻度、範囲を定義することを目的とした保守的な基準を策定した
- PRAは、プラント機器の安全重要度に関するより現実的な評価、重要な機器故障モード、更には、試験頻度や系統試験の構成といった運用上の判断に関する安全性の意味合いを提供する
- 事業者は、機器のリスク重要度に基づく代替試験アプローチを用いて、新たな試験手順を開発する必要があった
- また、RI-ISTプログラムの対象となる可能性がある機器の分類を目的とした、広範な情報収集システムの開発も必要であった



リスク情報を活用した供用期間中試験 (RI-IST)

- 既存のISTプログラムに関与したNRCの一部担当者から懸念が挙げられたが、その懸念とは、リスク情報を活用したアプローチにより、より最適なアプローチが利用可能になることが示されているとはいうものの、RI-ISTプログラムが結果的に、安全関連機器の性能低下を招く恐れがあるというものであった
- NRC及びASMEの両者は、事業者がRI-IST実施に利用可能なプログラムを実施したが、これらは、あまり注目されなかった
- 規制承認取得及び実施の初期コストは、特に機器試験に関する削減がより限定的である点を考慮した場合、見込まれる長期的便益を上回るように思われた



産業界のイニシアティブ

- 2003年12月9日に、サウス・テキサス・プロジェクト(STP)の2号機のディーゼル発電機(DG)#22が破局的に故障し、これによって重大な損傷を受けた。修理時間は当初、120日間と推定された。
- 12月30日、STPは修理のために113日間という一回限りの許容待機除外時間(AOT)の延長を認められた。承認の一環で、STPは、延長したAOT全体におけるリスクレベルの変化(CDFとLERFの両方)を示す計画的リスクプロファイルを作成することになった。
- このリスクマネジメントアプローチは成功とみなされた。即ち、STPの発電ユニットは電力を供給し続け、規制当局はDGの故障について新しい知見を得た。重要なことに、PRAの使用によってAOTを管理するための確実な手段が得られた。



結論

- 規制の大幅な変更は、外部からのプレッシャーによることが多い
- PRAと従来の手法は補完的である
- RIDMの主な障害は文化的なものである
 - 確率に対する不安
 - 従来の方法への慣れが変化を躊躇させること
- リスク情報を活用したイニシアティブは自主的
 - 事業者はコストと便益をはかりにかける
 - 大成功: ROP及びRI-ISI
 - 失敗: RI-IST

