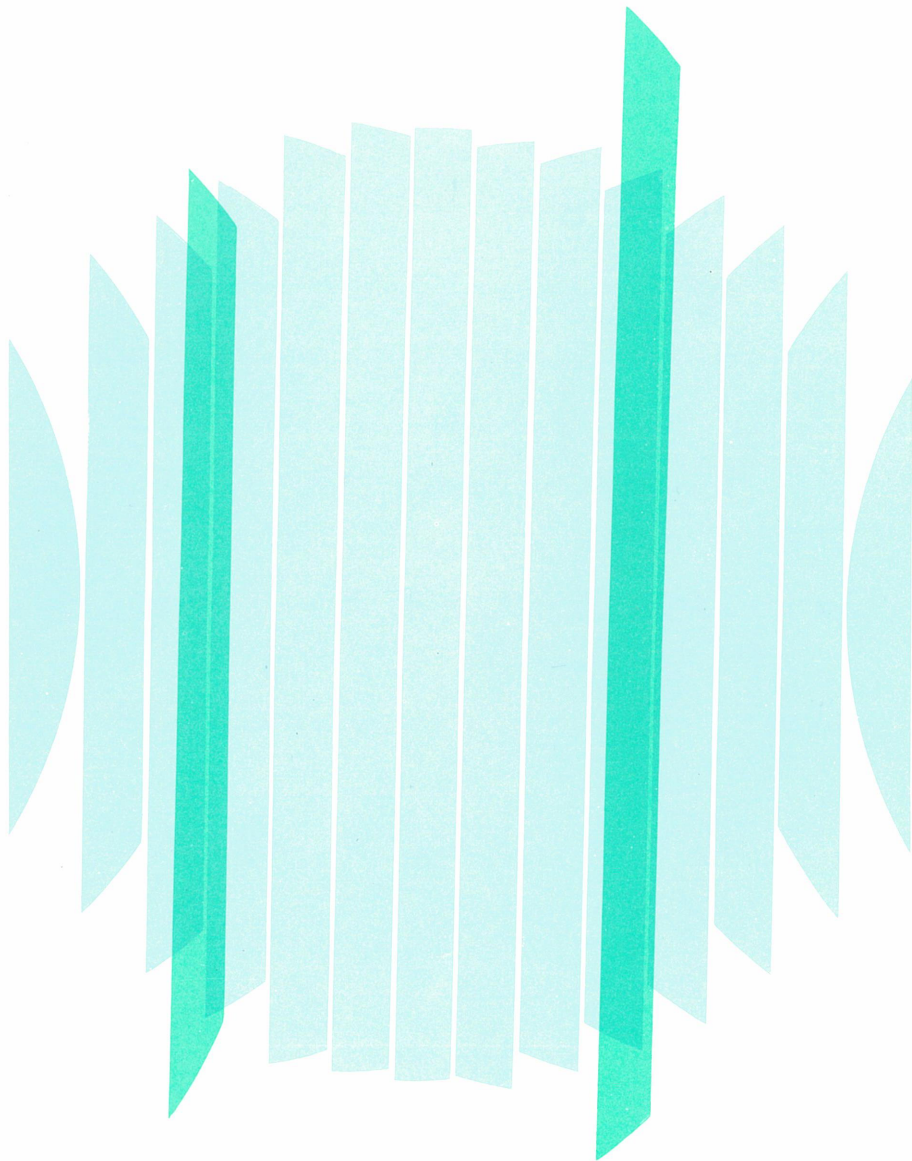


季報 エネルギー総合工学

Vol. 12 No. 2 1989. 7.



財団法人 エネルギー総合工学研究所
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

目 次

「持続可能な開発」を求めて	通商産業省工業技術院 院長 杉 浦 賢.....	1
業務用ビルにおけるエネルギー管理の実態について		
——負荷標準化に関わるアンケート調査結果——.....	大 久 保 克 彦.....	2
原子力とソフトウェアの信頼性.....	栗 原 利 夫.....	18
インターエージェンシー(IAEA,UNEP,UNIDO,WHO)		
ワークショップ「大工業地帯におけるリスク管理」に参加して.....	松 井 一 秋.....	28
エネルギー産業の経営多角化について.....	岸 孝 雄.....	34
研究所のうごき.....		42

「持続可能な開発」を求めて

通商産業省工業技術院 院長 杉 浦 賢

ここ数年、大気中炭酸ガス濃度の上昇、酸性雨の増大、オゾン層の破壊、森林の減少、砂漠化の進展などグローバルな地球環境の問題が大きく採り上げられている。これらは、エネルギー消費や開発と密接に関係し、我々の将来に大きな影響を与える可能性が強いことから、その対応が急がれる。

昨年及び一昨年は、いろいろな形で国内的にも、国際的にも、地球規模の環境問題について大きな動きがあった。国連の「環境と開発に関する世界委員会（WCED）」は、1987年2月の東京における最終会合において、「持続可能な開発」をうたった東京宣言を採択した。本文の題名にも借用した「持続可能な開発」の方策をさぐることは、まさに、我々の子孫に対する重要な責務である。

そのためには、社会的、経済的観点も含めた広い立場からの対応が行われることになろうが、その基盤となるのは、技術開発であろう。

エネルギー問題に関連しては、

- i) クリーンな新しいエネルギー源の開発、あるいは、エネルギー源の多様化による選択肢の増大、
 - ii) 省エネルギー技術の開発によるエネルギー源への負担の減少と環境への負荷の軽減、
 - iii) グローバルな環境問題に対する科学的知見の深化と対策技術の開発、
- などの観点から、研究開発が精力的に進められている。

グローバルな環境問題については、研究対象が地球規模となることから、特に、国際協力が重要になる。我が国がエネルギー消費大国であることを考えるとき、率先してその研究開発に取組み、進んで国際的貢献を果していくことが大切である。

エネルギー問題は、国のセキュリティに関連して論ぜられることが多い。国際協力を通じて、国際的貢献を進め、世界各国と相互理解を深めていくことは、結局、我が国のセキュリティの向上につながっていくものと思われる。

(すぎうら まさる)

業務用ビルにおける エネルギー管理の実態について

—負荷平準化に関わるアンケート調査結果—

大久保 克彦

1. はじめに

我が国における、近年の空調需要の増大あるいは情報化の進展に伴い、最大電力需要は堅調な伸びを続け、電力需要の昼夜間格差は増大の傾向にあり、年間負荷率も今後とも低下の傾向が続くものと予想され、ひいては供給コストへの悪影響が懸念されている。このような状況に対し、電力各社においては従来に増して負荷の平準化に努め、産業用大口需要家への季時別料金制度の導入など新たな諸方策を講じているところである。

この負荷平準化方策には、大別すると料金制度面による間接負荷制御と、需要家の負荷機器を直接制御する直接負荷制御の二通りがある。前者は深夜電力制度を始めとする種々の料金制度が講じられていることから馴染みも深いが、後者は我が国においては、タイムスイッチによる深夜温水器の制御が行われている程度であり、まだ馴染みが少ない。

しかしながら、今後これら直接負荷機器制御も電力負荷平準化方策（負荷シフト、ポトムアップ、ピークカット）の一つの柱として積極的に検討されることと考えられる。

なお、この直接負荷制御を検討するに当た

っては、まず需要家における負荷管理の実態を把握し、理解することが重要と考えられる。そこで、電力需要が昼間に集中し昼夜間格差が特に大きく、電力負荷制御の効果も大きいと予想される業務用需要家を対象にして、負荷平準化に関するアンケート調査を実施した。

ここではそのアンケート調査結果(約150ビルを対象にし、アンケート調査を実施し、75ビルより回答があった)の概要を以下に述べる。なお、詳細については参考資料を参照頂きたい。

2. 調査ビルの概要

○まず、業種別にみると、事務所ビルが70%を占めている。

○延べ床面積でみると、1万㎡未満のビルが約1/2を占め、2.5万㎡未満までとする約3/4までを占めている。

○階数でみると、8～13階のビルが約60%を占めている。

○建設年をみると、ほぼ平均している。

○最後に、契約電力でみると高圧受電が約70%を占め、特高受電は約30%となっている。

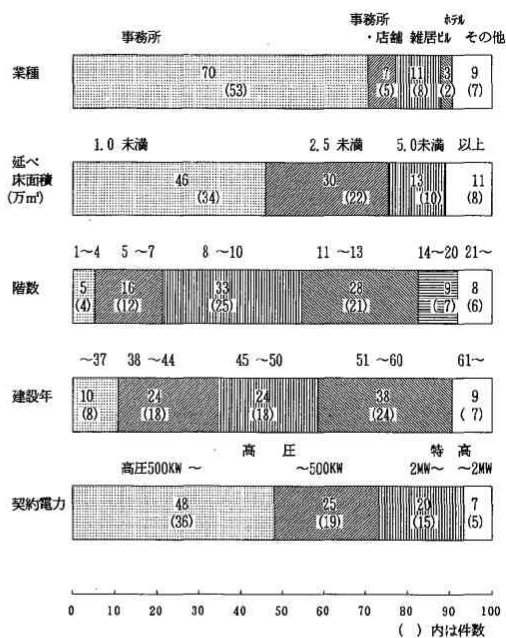


図1 調査実施ビルの概要

3. 調査結果の概要

(1) 自家発

○大半(約80%)の需要家が停電時対応として自家発を保有している。

(2) 最大電力の調整

○自主的に負荷調整を実施している需要家が約40%程度あり、その内約70%は自動制御又は遠隔制御で実施している。

なお、自主的に負荷調整を実施している需要家のなかには、電力からの負荷抑制に対する対応は困難と答えた需要家が1/3(30ビル中12ビル;表1)程度ある。

○また約1/3の需要家が、電力側からの負荷調整を可能と答えている。

○自主的な負荷調整未実施及び電力からの負荷抑制に対する対応困難の理由の大半は

対象需要がないということであり、これはテナント等に影響を及ぼさないで抑制できる需要がないということと推測される。しかしながら、実際制御するとなるとテナントの同意困難という理由に変わるのではないかと予想される。

しかしながら、「自主的な負荷調整未実施の需要家でも15%程度(45ビル中7ビル;表1)は、電力からの負荷調整受け入れ可としている」という状況から考えると、電力からの負荷抑制は条件さえ揃えば、かなり受け入れられるのではないかと考えられる。

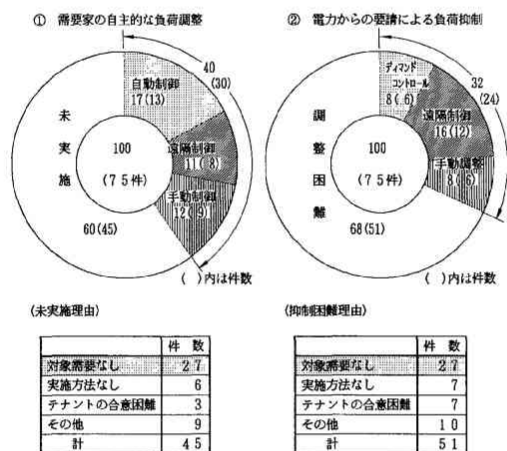


図2 最大電力需要の調整

表1 需要家の自主的な負荷調整と電力からの要請による負荷抑制の関連

		電力からの要請による負荷抑制		計
		抑制可能	抑制不可能	
需要家の自主的な負荷調整	実施中	18	12	30
	未実施	7	38	45
計		25	50	75

(3) 空調機器

○セントラル方式の空調が約60%を占めている。

○冷房用エネルギーは約80%が電気で賄われているものの、6台以上の熱源機により実施している需要家がその内1/3程度を占めており、これらの需要家への個別機器の直接制御は困難が予想される。また、これらの占める比率は将来増加することと予想される。

○設定温度の遠隔制御による変更を各階毎、各機器毎に行っている需要家が約50%あり、これらの需要家への個別機器の直接制御も困難が予想される。また、これらの占める比率も将来増加することと予想される。

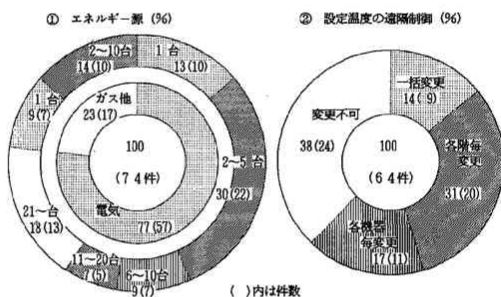


図3 空調設備 (冷房)

○暖房用エネルギーに電力の占める割合は30%程度である。

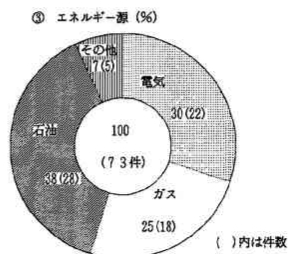


図4 空調設備 (暖房)

○蓄熱槽を保有している需要家は1/3程度あるものの、蓄熱契約を締結している需要家はその内1/4程度である。

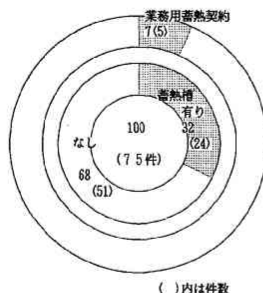


図5 蓄熱槽 (%)

○蓄熱槽を保有している需要家において、蓄熱時間帯の設定が可能な設備を有するものが25%ある。

表2 蓄熱槽の制御 (母数24ビル)

① 運転能力制御

	件数	実施率
蓄熱槽自体の制御	2件	8.3%
熱源機の制御	11件	45.8%

② 時間帯制御

	件数	実施率
蓄熱時間帯設定可能	6件	25%
放熱時間帯設定可能	6件	25%

(4) エネルギー管理

○電気エネルギーについては、かなりの需要家が時間別までの管理を行っている。

(電力量：70%，最大電力：40%)

また、機械管理も各対象項目について1/3～1/4の需要家が実施している。

○電気以外のエネルギー（ガス、石油・石炭、水道）の管理は、日単位程度が一般的である。

○全体で見ると約40%の需要家がコンピューターを利用した管理を実施している。

しかしながら、その内約1/3は空調需要程度しか対象としていない。

○将来、コンピューターによる管理の割合が一層増加することと予想される。このことは遠隔自動制御の可能性が増すことを意味するとも考えられ、電力側からの要請による負荷制御に結びつけられ、効果が上がる方向となると考えられる。

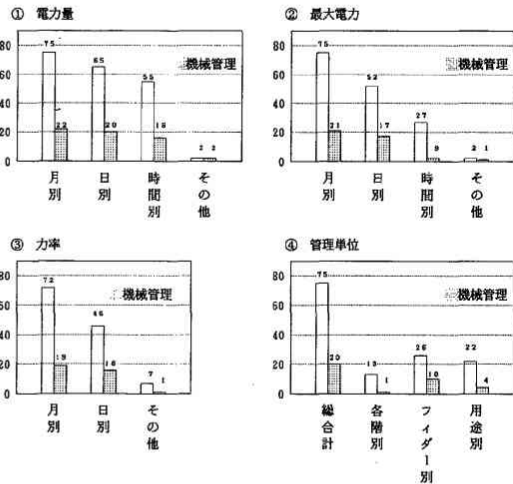


図6 電力エネルギー管理 (件数)

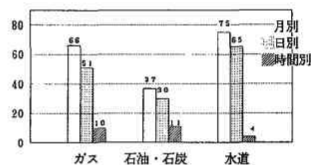


図7 その他エネルギー管理 (件数)

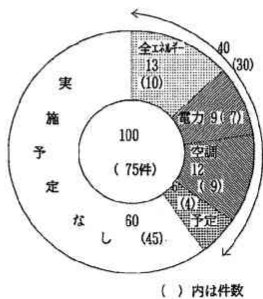


図8 コンピューター管理 (%)

(5) 省エネ対策

○照明では、遠隔制御が23%とかなり採用されている。

この照明の制御のうち省エネに大きな効果があるといわれている昼光連動調光は2件しか見受けられない。

○空調では、外気取り入れ制御、最適起動停止制御、等各種の制御が、採用されている。

○エレベーターの群管理も約40%の採用率となっている。

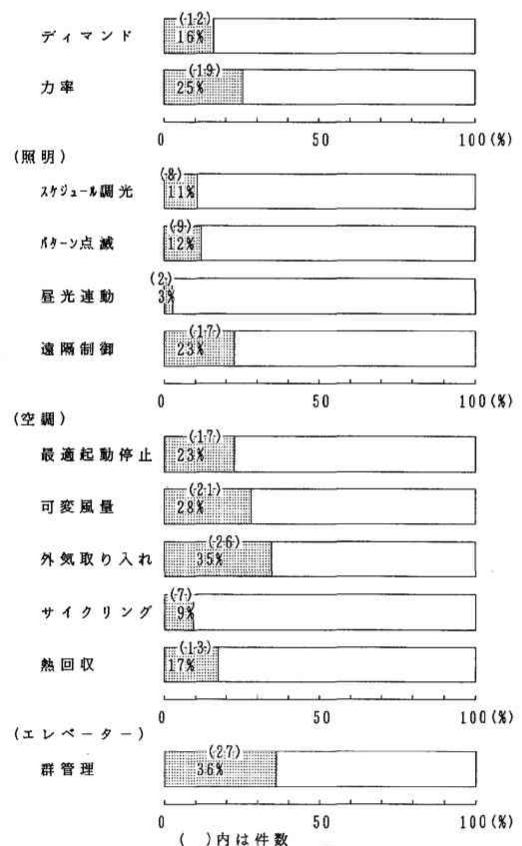


図9 省エネ対策等実施状況 (トータル75件)

(6) 通信制御線

○需要家内で負荷等の監視・制御を行っている通信制御線としては約70%が弱電流線であった。

表3 通信制御線の種類

通信制御線	件数	実施率
弱電流電線	13件	72%
同軸ケーブル	4件	22%
光ファイバー	1件	6%
不明	6件	—
計	24件	—

(注) 実施率は制御線種別の回答があった件数
(18=24-6)に対する比率で示す。

4. あとがき

ここまで、業務用需要家を対象としたアンケート調査結果について述べて来たが、ここで電力負荷平準化の観点から、電力からの直接制御を中心に統括的に纏めてみる。

まず第一に、かなりの需要家で負荷機器の自動制御・遠隔制御用の装置が既に導入されており、電力からの制御を考える場合、需要家内のこれらの装置といかに協調するかが今後の大きな課題と考えられる。

第二に、空調設備については、需要家の生産活動、業務活動に直接的な影響が比較的少なく、負荷抑制等の制御を実施した場合その効果が大きいという観点も含めると、電力からの直接制御の第1の候補として考えられる。

しかしながら、これら空調設備は今回の調査結果にもあるように、その熱源は1台ではなく複数台により実施されている場合が多く、

今後ともこの比率は増加していくものと考えられる。また、OA化の更なる進展等に伴い、オフィス等におけるアメニティ要求が高まり、各階各部屋毎の温度設定・変更といったゾーン別の空調制御の比率の増加とあいまって、個別分散化が今後ますます増えることと考えられる。

このため、これらの個別分散化した空調設備に対する電力からの制御の在り方についても検討をする必要があると考えられる。

また上記の2点から、電力からの需要家内機器制御については、その負荷機器自体の直接的制御のみではなく、電力は需要家の最大電力（負荷機器合計）を制御し、制御機器の選定等は需要家の意志・判断に任せるという方法も考える必要がある。

なお、電力からの直接負荷機器制御は単なるON・OFF制御ではなく、需要家の利便性と経済性の確保を図りながら制御しなければならないと考えられる。

第三に、料金制度面における負荷平準化方策の一翼を担っている蓄熱契約について見ると、蓄熱槽は保有しているものの、契約条件が整わない等の理由により、蓄熱契約を締結していない需要家が多く、これら契約未締結の需要家の取り込みについても考える必要がある。

今回の実態調査が、今後なされるであろう直接負荷機器制御に関する検討の一助になれば幸である。(おおくば かつひこ 主任研究員)

〔参考〕

1. アンケート実施方法

(注)日本ビルエネルギー総合管理技術協会のご協力により、同協会の会員会社の内20社程度にアンケート用紙を送付し調査を実施した。(各社5～10ビルを対象とし、計150ビル)

なお、調査実施対象は関東地区の延べ床面積5,000㎡以上のビルとした。

2. アンケート内容

(1)事務所概要

- ・業種
- ・延べ床面積
- ・建設年等

(2)契約電力の概要（・蓄熱契約等も含む）

(3)自家発

- ・容量
- ・台数
- ・運転方法等

(4)最大電力の調整

①自主的負荷調整

- ・現状
- ・将来（季時別料金制度導入時）

②電力からの要請があった場合

(5)空調

- ・空調方式
- ・容量
- ・台数
- ・制御方法等

(6)蓄熱槽

- ・種類
- ・容量
- ・運転方法等

(7)必要とする電力会社サイドの情報

(8)エネルギー管理

①管理項目

- ・電気
- ・ガス
- ・その他

②管理方法

- ・コンピューター管理
- ・実施項目
- ・システム等

③省エネ対策等のコンピューター制御

- ・実施項目
- ・制御方法
- ・実施単位等

(9)主要電力機器

- ・容量
- ・台数

(注)調査表は別添のとおり

3. アンケート結果

3.1 調査ビルの概要

(1) 業種

業 種	事 務 所	事務所、店舗	雑居ビル	ホ テ ル	工場、研究所	店舗、駐車場	そ の 他	合 計
ビ ル 数	53 (70%)	5 (7%)	8 (11%)	2 (3%)	1 (1%)	2 (3%)	4 (5%)	75 (100%)

(2) 延べ床面積

延べ床面積 (万㎡)	0.5 未満	0.5～ 1.0	1.0～ 2.5	2.5～ 5.0	5.0～ 10.0	10.0 以上	合 計
ビ ル 数	1 (1%)	33 (45%)	22 (30%)	10 (13%)	6 (8%)	2 (3%)	74 (100%)

(3) 階数

階 数	1～4階	5～7階	8～10階	11～13階	14～20階	21～30階	31階以上	合 計
ビ ル 数	4 (5%)	12 (16%)	25 (33%)	21 (28%)	7 (9%)	2 (3%)	4 (5%)	75 (100%)

(4) 建設年

建 設 年	20年以前	21～37年	38～44年	45～50年	51～60年	61年以降	合 計
ビ ル 数	4 (5%)	4 (5%)	18 (24%)	18 (24%)	24 (32%)	7 (9%)	75 (100%)

(5) 契約電力

供給電圧 契約電力	特 別 高 圧		高 圧		合 計
	2,000kw以上	2,000kw未満	500kw以上	500kw未満	
ビ ル 数	15 (20%)	5 (7%)	36 (48%)	19 (25%)	75 (100%)

3.2 自家発

(1) 設置状況

	重 油		軽 油	灯 油	不 明	蓄 電 池	無 し	合 計
	500kw以上	500kw未満						
ビ ル 数	24 (32%)	17 (23%)	12 (16%)	5 (7%)	4 (5%)	1 (1%)	12 (16%)	75 (100%)

(2) 契約電力カバー率

	10%未満	10～20%	20～30%	30～40%	40～50%	50～100%	100%	合 計
ビ ル 数	3 (5%)	9 (14%)	18 (29%)	16 (25%)	6 (10%)	7 (11%)	4 (6%)	63 (100%)

3.3 最大電力の調整

(1) 需要家の自主的な負荷調整

		ビル数	詳 細 内 訳															
			建 設 年 度					床 面 積					契約電力: 千kW					
			(年)					(万㎡)					特 高		高 圧			
			38	45	51	61		5	5	5	5	10	2	2	.5	.5		
			37	44	50	60	5	1	2	5	10	以上	以上	未	以上	未		
							.5	.0	.5	.0	.0			満		満		
実 施 中		30	4	11	5	7	3	5	11	10	3	1	9	4	14	3		
自動制御	デマンド監視・制御装置による	11	4	2	4	1		3	6	2			5	1	5	0		
	主電力計によるCPU制御	2			1	1		1			1		1		1			
遠隔制御	デマンド監視装置よりの勧告	4	1	1	2			1	2	1			1	2	1			
	フィダー毎の電力計の目視監視	0																
	主電力計の目視監視	4	2	1		1		1	3						4			
現場に行き調整	デマンド監視装置よりの勧告	2	1	1				2						1	1			
	フィダー毎の電力計の目視監視	1	1					1								1		
	主電力計の目視監視	6	1	4	1			2	2	2			2		2	2		
未 実 施		45	4	7	13	17	4	1	28	11	0	3	1	6	1	22	16	
実 施 し な い 理 由	対象需要なし	27																
	実施方法なし	6																
	実施効果なし	2																
	テナントの同意困難	3																
	その他	7																
将来の実施は考えている		1																
合 計		75	8	18	18	24	7	1	33	22	10	6	2	15	5	36	19	

(2) 電力よりの要請による負荷抑制

調 整 可 能		24	1	9	6	5	3	6	7	7	3	1	7	3	11	3		
デマンド監視・制御装置による自動制御		6	2	2	1	1		2	4				3		3			
オペレータによる遠隔制御		12	1	3	2	4	2	4	2	2	3	1	3	2	5	2		
オペレータが現場へ調整指示		1		1				1					1					
現場へ行き調整実施		5	4	1				2	2	1			1		3	1		
調 整 困 難		51	7	9	12	19	4	1	27	15	3	3	1	8	2	25	16	
困 難 な 理 由	対象需要なし	27																
	実施方法なし	7																
	実施効果なし	2																
	テナントの同意困難	7																
	その他	8																
合 計		75	8	18	18	24	7	1	33	22	10	6	2	15	5	36	19	

3.4 冷暖房空調

(1) 空調方式

方 式	台 数
セントラルシステム	(57%) 43
個別 (各階) ユニット	(43%) 32
合 計	(100%) 75

(2) 容量制御方法

	間引き運転	インバータ、その他	合 計
ビ ル 数	29 (62%)	18 (38%)	47 (100%)

(3) 設定温度の遠隔制御

	変 更 可				変 更 不 可	合 計
	各階毎	一 括	機 器 個 別	計		
ビル数	20 (31%)	9 (14%)	11 (17%)	40 (62%)	24 (38%)	64 (100%)

(4) 冷房

① エネルギー源

	電 気			ガ ス	石 油	蒸 気	合 計
	電 気	+ガス	+蒸気				
ビル数	47 (64%)	7 (9%)	3 (4%)	14 (19%)	0 (0%)	3 (4%)	74 (100%)

② 熱源機台数

	1 台	2 台～5 台	6 台～10 台	11 台～20 台	21 台以上	合 計
ビ ル 数	電気 10 (13%)	22 (30%)	7 (9%)	5 (7%)	13 (18%)	57 (77%)
	ガス 7 (9%)	6 (8%)	1 (2%)			14 (19%)
	蒸気 3 (4%)					3 (4%)
	合計 17 (23%)	31 (42%)	8 (10%)	5 (7%)	13 (18%)	74 (100%)

(5) 暖房

① エネルギー源

	電 気		ガ ス	石 油	その他	合 計
	電 気	+ガス				
ビル数	15 (21%)	7 (9%)	18 (25%)	28 (38%)	5 (7%)	73 (100%)

② 熱源機台数

	1 台	2 台～5 台	6 台～10 台	11 台～20 台	21 台以上	合 計
ビル数	23 (31%)	29 (40%)	8 (11%)	3 (4%)	10 (14%)	73 (100%)

3.5 蓄熱槽 (1) 種類

	ビル数	詳 細 内 訳														
		建 設 年 度 (年)					床 面 積 (万㎡)					契約電力：千kW				
												特 高		高 圧		
		37	38 5	45 5	51 5	61 5	5 5	5 1	5 2	5 5	5 10	10 以上	2 以上	2 未 満	5 以上	5 未 満
実 施 中	24	2	10	6	5	1	1	9	6	5	3	0	6	3	12	3
水 蓄 熱 (電 気)	24	2	10	6	5	1	1	9	6	5	3	0	6	3	12	3
水 蓄 熱	0															
そ の 他	0															
未 実 施	51	6	8	12	19	6	0	24	16	5	3	2	9	2	24	16
合 計	75	8	18	18	24	7	1	33	22	10	6	2	15	5	36	19

(注) 以下の(2)～(8)では不明の分は割愛した。

(2) 容量

	100㎡未満	100㎡以上
ビル数	4 (18%)	18 (82%)

(3) 蓄熱槽運転能力制御

	可 能	不 可能
ビル数	2 (9%)	21 (91%)

(4) 蓄熱時、熱源運転能力制御

	可 能	不 可能
ビル数	11 (48%)	12 (52%)

(5) 蓄熱時間帯設定

	不 可能	可 能			
		開始時間	終了時間	その他	計
ビル数	16 (73%)	4 (いずれでも設定可) (18%)		2 (9%)	6 (27%)

(6) 残量確認方法

	温 度	水 位	そ の 他
ビル数	21 (91%)	2 (9%)	0

(7) 制御方法

	センタ-コントロ-ル	個別エ-ユニット
ビル数	10 (50%)	10 (50%)

(8) 放熱時、運転方法

	一定出力運転	使用時間帯 設定可	そ の 他	合 計
ビル数	15 (68%)	6 (27%)	1 (5%)	22 (100%)

3.6 エネルギー管理

(1) 管理項目

① 電気

		ビル数	実施率	機械管理
電 力 量	月間	75	100%	22
	日間	65	87%	20
	時間別	55	73%	16
	その他	2	3%	2
最 大 電 力	月間	75	100%	21
	日間	52	69%	17
	時間別	27	36%	9
	その他	2	3%	1
力 率	月間	72	100%	19
	日間	46	64%	16
	その他	7	10%	1
管 理 単 位	総合計	75	100%	20
	各階	13	17%	1
	フィダー別	26	35%	10
	用途別	22	29%	4

② その他

		ビル数	実施率
ガ ス	月間	66	100%
	日間	51	77%
	時間別	10	15%
	その他	0	0%
石 炭 ・ 石 油	月間	37	100%
	日間	30	81%
	時間別	11	30%
	その他	0	0%
水 道	月間	75	100%
	日間	64	87%
	時間別	4	5%
	その他	0	0%

(2) コンピュータ管理

① 実施状況

	ビル数	実施率	詳 細 内 訳															
			建 設 年 度					床 面 積						契約電力：千kW				
			(年)					(万㎡)						特 高		高 圧		
			37	38	45	51	61	1	2	5	10	10以上	2	2	5	5	5	5
実 施 中	26	34%	3	5	14	4	1	5	7	6	5	2	13		9	4		
空調のみを対象	10	13%	1	2	6	1	1	2	5	2			2		6	2		
電力エネルギーの全てを対象	7	9%	2	1	2	2		1	1	2	2	1	6			1		
全エネルギーを対象	9	12%			2	6	1		2	1	2	3	1	5		3	1	
未 実 施	49	—	8	15	13	10	3	0	28	15	4	1	0	2	5	27	15	
実施予定あり	5	—																
実施予定なし	44	—																
合 計	75	100%	8	18	18	24	7	1	33	22	10	6	2	15	5	36	19	

②実施対象

	空調のみ	電力のみ	全エネルギー	合 計
現 状	10 (38%)	7 (27%)	9 (35%)	26 (100%)
将 来	11 (37%)	6 (20%)	13 (43%)	30 (100%)

③ 通信制御線

	弱電流線	同 軸	光	合 計
ビル数	18 (75%)	5 (21%)	1 (4%)	24 (100%)

3.7 省エネ対策等のコンピュータ制御

(1) 実施状況

	実施中	実施予定	予定なし	合 計
ビル数	23 (31%)	4 (5%)	48 (64%)	75 (100%)

(2) 実施項目

		ビル数	実施率	詳 細 内 訳															
				建 設 年 度					床 面 積					契約電力：kW					
				(年)					(万㎡)					特 高		高 圧			
				5 37	38 44	45 50	51 60	61 65	5 5	1 1	2 2	5 5	10 10	10 以上	2 以上	2 未 満	5 以上	5 未 満	
デ マ ン ド		12	16%		4	2	5	1			3	6	3		6	1	5		
力 率		19	25%																
変 圧 器		3	4%																
自 家 発		5	7%																
蓄 電 池		5	7%																
照 明	スケジュール	8	11%			2	5	1		1	2		3	2	5		2	1	
	パターン	9	12%		1	2	5	1		3	1	2	3		5		2	2	
	屋光連動	2	3%				2					1	1		1		1		
	人体感知	0	0%																
	遠隔	17	23%		2	3	9	3		3	4	4	5	1	9	0	4	4	
空 調	最適起動停止	17	23%		1	4	8	4		5	3	4	3	2	7	1	6	3	
	可変風量	21	28%		2	3	13	3	1	8	1	4	5	2	10	1	5	5	
	外気取り入れ	26	35%	1	3	3	13	6	1	8	3	7	5	2	9	3	8	6	
	サイクリング	7	9%	1	1	1	1	3	1	3	1	1	1		1		2	4	
	熱回収	13	17%		1	2	7	3		5	2	3	2	1	4		5	4	
エレベータ 群管理		27	36%	2	3	5	15	2		4	7	8	6	2	12	3	10	2	
合 計		75	—	8	18	18	24	7	1	33	22	10	6	2	15	5	36	19	

(調査表) 電力負荷平準化に関するアンケート

1. 調査事業所

御貴社名		延べ床面積		m ²
事業所名(ビル名)		階数	地上	階、地下
業種		建設年		
ビル種別				

(注) 1.業種 : 事務所, デパート, ホテル, 病院, 学校, マンション, 雑居ビル, 工場等
2.ビル種別: 自社, 貸しビル 3. ビル名については略号(ANビル等)等でも可

2. 契約電力の内容

	受電電力(kw)	受電電圧(kv)
特別高圧		
高圧		
業務用		

3. 需給調整契約の種類と内容

(1) 種類 (契約しているものにチェック下さい) (2) 契約内容

- ①年間調整契約
☐ 時間帯別調整契約
☐ 負荷曲線別契約
 ②随時調整契約
☐ 通告調整契約
☐ 緊急時調整契約
☐ 瞬時調整契約
 ③計画調整契約
☐ 休日振替契約
☐ 予定調整契約
☐ 定時調整契約
 ④蓄熱調整契約
☐ 産業用蓄熱調整契約
☐ 業務用蓄熱調整契約

契約の種類	負荷調整量(kw)

4. 自家発電

(1) 容量, 台数等

燃料・源別	容量(kw)	台数

(2) 自家発電の運転方法

(該当箇所をチェック下さい。() 内には内容を記載下さい。)

- ☐ 停電時対応(常時は運転せず)
☐ ベース電源として運転
☐ ベース電源は、電力からの受電分に対応し、自家発電は負荷追従運転
 (夏期の一般的運転時間帯 : ~ :)
☐ 電力需要のピークカット用として運転
 (夏期の一般的運転時間帯 : ~ :)
☐ その他 ()

5. 最大電力の負荷調整について(該当箇所をチェック下さい。() 内には内容を記載下さい。)

(1) 自主的負荷調整

①現状

- ☐ 実施している ☐ 実施していない
 ◦ 実施していない理由
☐ 負荷調整の対象需要がない
☐ 負荷調整を実施する方法がない
☐ 負荷調整実施の効果がでない
☐ テナントの同意が得られない
☐ その他 ()
 ◦ 実施している方法(実施している箇所の回答)
☐ ディマンド監視制御装置により自動的に負荷調整がなされる
 (負荷調整可能な機器を順番付けしている)
☐ ディマンド監視制御装置の警告を受けオペレーターが遠隔で負荷調整をする
☐ ディマンド監視制御装置の警告を受けオペレーターが現場へ負荷調整を指示する
☐ ディマンド監視制御装置の警告を受けオペレーターが現場へ行き負荷調整をする
☐ 各フーダー毎の電力計の目視監視によりオペレーターが遠隔で負荷調整をする
☐ 各フーダー毎の電力計の目視監視によりオペレーターが現場へ負荷調整を指示する
☐ 各フーダー毎の電力計の目視監視によりオペレーターが現場へ行き負荷調整をする
☐ 主電力計の目視監視によりオペレーターが遠隔で負荷調整をする
☐ 主電力計の目視監視により現場へ負荷調整を指示する
☐ 主電力計の目視監視により現場へ行き負荷調整をする
☐ その他 ()
 ◦ 負荷調整可能機器
☐ 駐車場, 給気ファン ☐ 駐車場, 排気ファン
☐ 空調用, 給気ファン
☐ その他 ()

② 将来季節別料金制度(2季節3時間帯) 出来た場合の自主的負荷調整

- ☐ 実施する ☐ 実施しない
 ◦ 実施しない理由
☐ 負荷調整の対象需要がない
☐ 負荷調整を実施する方法がない
☐ 負荷調整実施の効果がでない
☐ テナントの同意が得られない
☐ その他 ()
 ◦ 実施方法
☐ ディマンド監視制御装置により自動的に負荷調整がなされる
 (負荷調整可能な機器を順番付けしている)
☐ オペレーターが遠隔で負荷調整をする
☐ オペレーターが現場へ負荷調整を指示する
☐ オペレーターが現場へ行き負荷調整をする
☐ サイクリングコントロールを実施
☐ その他 ()



6. 冷暖房空調について

(1)空調方式（該当箇所にチェック下さい。（ ）内には内容を記載下さい。）

- ☐ セントラルシステム（中央式） [%]
☐ 各階ユニット（各階分散型） [%]
☐ 各部屋ユニット（各部屋分散型） [%]
☐ ファンコイルユニット [%]
☐ パッケージユニット [%]
☐ その他（ ） [%]
- 2つ以上のシステムが混在する場合には構成比を記入する。

(2)冷房

機 器	工 料 費	容 量	台 数

(3)暖房

機 器	工 料 費	容 量	台 数

(4)容量制御方法

- ☐ 合数制御 ☐ アンロード制御
☐ その他（ ）

(5)容量制御範囲

- ☐ ステップ制御（ 段階）
☐ リニア制御（Max % ~ Min %）

(6)設定温度

- ・遠隔による設定温度変更
☐ 変更可（各階毎） ☐ 変更可（一括）
☐ 変更可（その他： ）
☐ 変更不可
 ・設定温度制御信号
☐ アナログ方式 ☐ デジタル方式

7. 蓄熱槽（蓄熱槽を保有している箇所のみ記載）

(1)種類（該当箇所にチェック下さい。（ ）内には内容を記載下さい。）

- ☐ 水蓄熱
☐ 水蓄熱
☐ その他（ ）

(2)容量

m³

(3)運転方法等（該当箇所にチェック下さい。（ ）内には内容を記載下さい。）

①蓄熱時

ア. 蓄熱槽の容量切替え

- ☐ 可能 ☐ 不可能
 ・蓄熱槽の容量切替え可能の場合の遠隔操作
☐ 可能 ☐ 不可能

イ. 蓄熱時の、熱源機の運転容量変更

- ☐ 可能 ☐ 不可能
 ・蓄熱時の、熱源機の運転容量変更可能の場合の遠隔操作
☐ 可能 ☐ 不可能

ウ. 蓄熱開始、終了時間設定

- ☐ 可能（ 段） ☐ 不可能
 ・蓄熱開始、終了時間設定可能の場合の運転方法
☐ 蓄熱開始時間設定
☐ 蓄熱終了時間設定
☐ その他（ ）
 ・蓄熱開始、終了時間設定不可能の場合の運転方法
☐ 夜間時間帯になると熱源機の容量一杯で運転開始
☐ 夜間時間の終了時に蓄熱が終了するよう運転
☐ その他（ ）

エ. 蓄熱の残可能量確認

- ☐ 温度
☐ 水位
☐ その他（ ）

②放熱時

○運転方法

- ☐ 使用時間内一定出力運転（熱源機で負荷追従運転）
☐ 使用時間設定可能
☐ その他（ ）

③制御方式

- ☐ センターコントロール方式
☐ 個別ユニット方式

8. 電力とお客さま間の情報伝達について下記に記入下さい

(1)お客さまの電力設備の監視制御者からみた必要な電力会社の情報

(2)電力需要の消費者からみた必要な電力会社の情報

9. エネルギー管理について

(1)管理項目（管理している項目にチェック下さい。（ ）内には内容を記載下さい。）

①電気

ア. 電力量

- ☐ 月間電力量 ☐ 日間電力量 ☐ 時間別電力量（ 時間毎）
☐ 時間帯別
☐ その他（ ）

イ. 最大電力

- ☐ 月間最大電力 ☐ 日間最大電力 ☐ 時間別最大電力
☐ その他（ ）

ウ. 力率

- ☐ 月間力率 ☐ 日間力率
☐ その他（ ）

エ. 管理単位

- ☐ 総合計 ☐ 各階 ☐ 用途別 ☐ フィーダー別（ フィーダー）
 ・用途別に管理している場合の区分項目
☐ 冷暖房・空調 ☐ 厨房関係
☐ その他（ ）

②ガス

ア. 消費量

- ☐ 月間消費量 ☐ 日間消費量 ☐ 時間別消費量（ 時間毎）
☐ その他（ ）

イ. その他

- （ ）

③石油・石炭・まき

ア. 消費量

- ☐ 月間消費量 ☐ 日間消費量 ☐ 時間別消費量（ 時間毎）
☐ その他（ ）

イ. その他

- （ ）

- ④水道
 ア. 消費量
☐月間消費量 ☐日間消費量 ☐時間別消費量 (時間毎)
☐その他 ()
 イ. その他 ()
 ⑤その他 ()

⑫管理手法 (該当箇所にチェック下さい。() 内には内容を記載下さい。)

- ①コンピューター管理
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・実施対象
 ・現状 ☐空調のみ対象 ☐電力需要全てを対象 ☐エネルギー全てを対象
 ・将来 ☐空調のみ対象 ☐電力需要全てを対象 ☐エネルギー全てを対象
 ②実施項目
 ア. 現状
☐電気 ☐ガス ☐石油・石炭 ☐水道 ☐その他 ()
 イ. 将来
☐電気 ☐ガス ☐石油・石炭 ☐水道 ☐その他 ()
 ウ. 電気の実施項目
 ・電力量
☐月間電力量 ☐日間電力量 ☐時間別電力量 (時間毎)
☐時間帯別
☐その他 ()
 ・最大電力
☐月間最大電力 ☐日間最大電力 ☐時間別最大電力
☐その他 ()
 ・力率
☐月間力率 ☐日間力率
☐その他 ()
 ・管理単位
☐総合計 ☐各階 ☐用途別 ☐フィーダー別 (フィーダー)
 エ. 用途別に管理している場合の区分項目
☐冷暖房・空調 ☐厨房関係
☐その他 ()

- ③システム
 ア. 製造者
 イ. 型式
 ウ. 通信制御線
☐弱電流電線 (V) ☐同軸ケーブル ☐光ファイバーケーブル

- ④管理箇所
☐当該ビル内の管理箇所より制御 ☐他のビルより遠隔制御

⑬省エネ対策等のコンピューター制御 (該当箇所にチェック下さい。() 内には内容を記載下さい。)

- ☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ①実施項目 (実施中、将来実施予定の箇所のみ記入下さい)
 ア. デイマンド
 ・デイマンドコントロール
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・デイマンドコントロールの方法
☐順位付け ☐容量制御 ☐設定値 (ex. 温度) の変更
☐その他 ()
 ・その他 ()

- イ. 力率
 ・力率制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ウ. 変圧器
 ・変圧器台数制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
☐その他 ()
 エ. 自家発電 (停電時の対応設備分)
☐ ()
 オ. 蓄電池 (停電時の対応設備分)
☐ ()
 カ. 照明設備
 ・スケジュール調光制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・パターン点滅制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・怠滞 (昼光運動) 調光制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・人体感知点滅制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・遠隔制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 遠隔制御調光方法
☐リモコン ☐ワイヤレス ☐電力線搬送 ☐集中制御
☐その他 ()
☐その他 ()
 キ. 空調設備
 ・最適起動・停止制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・実施単位
☐一括 ☐各階
☐その他 ()
 ・可変風量制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・実施単位
☐一括 ☐各階 ☐各ユニット
☐その他 ()
 ・外気取り入れ制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・サイクリング制御
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・実施単位
☐各階
☐その他 ()
 ・停止時間幅変更
☐随時可 (スイッチ) ☐随時可 (プログラム)
☐変更不可 ☐その他 ()
 ・熱回収空調
☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし
 ・その他の制御
☐ ()

ク. エレベーター

◦エレベーター台数 _____ 台

◦エレベーター群管理

☐実施中 ☐将来実施予定 ☐実施予定なし

コ. その他

◦制御内容

{ }

10. 主要電力機器

(1) 夏期

	主要電力機器	容量	台数
冷 暖 房 ・ 空 調 ・ 換 気			
そ の 他			

(2) 冬期

	主要電力機器	容量	台数
冷 暖 房 ・ 空 調 ・ 換 気			

原子力とソフトウェアの信頼性

栗 原 利 夫

1. はじめに

デジタル計算機の信頼性の向上とともに、原子力発電所の運転の場に直接的に応用しようとする動きがでてきており、その場合発電所の安全性、信頼性への影響の観点からソフトウェア信頼性が関心を呼んでいる。原子力の確率論的安全評価との関連を含め広く原子力安全とソフトウェアの信頼性の関連について考えてみる。

以下では原子力開発における計算機技術の利用の変遷、ソフトウェア一般の信頼性と安全性の考え方、そうした観点からソフトウェアの問題点と高信頼性／高安全性達成のための手法、さらにはそのための研究開発の具体例等について概説する。

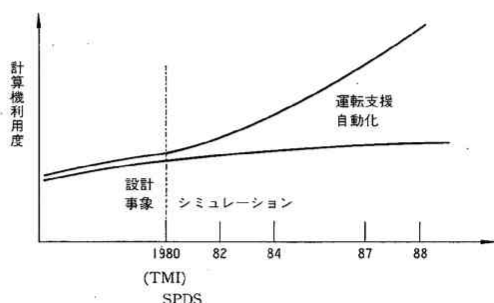


図1 原子力におけるソフトウェアの関わりの変遷

2. 原子力におけるソフトウェアの関わりの変遷

図1は軽水炉におけるソフトウェアの関わりの変遷を大まかに表したものである。歴年に対する計算機利用度を示したものである。重要な点は次の通りである。

前述の様に当初よりの設計、事象解析への利用はほぼ安定的な様相だったが、米国スリーマイルアイランド (TMI) 発電所事故をきっかけとして1980年頃以降運転支援への応用が急速に進展している。利用の形態としてどう変わってきているか、また計算機の役割が如何に変質してきたかが示されている。

伝統的な原子炉の設計あるいはシミュレーションの形で推移してきた部分がある。原子力開発の初期にはむしろ原子力が計算機の発達を促す役割を果たしていた時代があった。その後は逆に計算機技術の発達が原子力の開発を促す形になってきた。こうした伝統的な計算機利用の形態は安定した状況になっている。ところが、TMI事故以降これとは別な利用の形態が増加している。それは運転支援、自動化といった領域である。

このことを示す具体的な例として、安全パラメータ表示システム (SPDS) 開発、ハードウェアの計算機信頼性に係る4つのプロジェクト

が1981年に始まっている。また、基準、指針類もいくつか策定されている。1982年には米国国立標準協会 (ANSI) / 電気・電子工学学会 (IEEE) 規則が共同で作られ、1987年には同様の基準が ANSI/ANS (米国原子力学会) の指針として策定されている。これらを集大成する形で国際原子力機関 (IAEA) のテクニカルレポート IAEA/TR-282が発行されている。内容的にはソフトウェア開発工程を分解し、それぞれの段階においてどのようなことを注意すべきかどのようなチェックリストを用いて品質を高めるかといった枠組みである。

以上のように1980年を境として設計、事象シミュレーションから運転支援、自動化に用途が変わってきている。従来のソフトウェアの検証用として設計解析コードの場合にはベンチマーク試験が行われた。また複雑な事象の場合実験的に検証ができない場合もあり、その場合でも保守側の考え方を導入することによりソフトウェア全体としての信頼度を確保してきた。それに対して運転支援、自動化の場合にはそれらに対応する検証方法があるのかどうかということが問題となってきた。

3. ソフトウェアの信頼性と安全性

一般にソフトウェアを一つのシステムと見た場合に信頼性・安全性の問題を考えるのには二つの側面からみることになる。一つはミッション指向の観点そして安全性の観点がある。それぞれ異なった内容とアプローチになっている。

1984年に N. Levenson は、これらについて次のように定義している。

信頼性：システムが指定された期間、所定

の機能を達成する確率である。

安全性：システムが所定の機能を満足するしないに関わらず、ハザードを起こすような条件が発生しない確率である。

両者は場合によって相反する性質を持つ。

また、「安全性とは、何らかの環境条件下において生命/健康の危険や資産の損傷のような不如意なできごと (mishap) を引き起こし得るシステムの状態 (ハザード) を具えていない状態をいう」(MIL-SID-882B 1984) との定義もある。大人には余り危険でない剃刀も使い方を知らない子供にとっては危険になるというような、本来の使用、使い方が異なることにより高信頼だったものがそうなくなるのをソフトウェアハザードと区別するものである。

(1) ソフトウェアフォールトとソフトウェアハザードの相違

一般にソフトウェアフォールトとソフトウェアハザードについて次のように定義される。

ソフトウェア：記述間違い、文法的間違い、フォールト 論理的矛盾に基づく間違い等

ソフトウェア：通常は誤りを起こさないが、ハザード 予期されなかった事象、あるいは事象の接続が起こった時に、初めて誤りに転じるようなソフトウェアの内部の状態である。これは、オペレーティングシステム (O/S)、バス、コンパイラ等の中に原因がある。

具体的には以下のような期待に応えられなかった場合、その原因がソフトウェアハザードである。

- ①入力部のハードウェアを駆動するソフトウェアは、実時間関連性を保ちながら、一連の関連事象を余すことなく読み込むか。入力部と外部との非同期性が問題となる、
- ②割り込み非決定要因を内部に持つ場合等、処理順は正しく守られるか。
- ③数値計算がある場合、分母が零になったり、演算誤差が致命的影響を及ぼす状態にならないか
- ④応答時間は満足か。
- ⑤バス通信は正しく行われるか。

この分析には、EMEA や FTA を利用しようとする動きがある。

(2) ソフトウェアライフサイクル

ソフトウェアの信頼性・安全性の問題をソフトウェアのライフサイクルの観点から検討してみる。高品質ソフトウェアを高い生産性で開発するためにはどうすればよいかという発想からソフトウェア開発のフレームワークとして生まれたのが、ソフトウェアライフサイクルである。ソフトウェアライフサイクルとは、コンピュータシステムへの要求が発生しソフトウェアが誕生し、稼動、運用、保守され、最終的には廃棄されるまでの期間をいう。

一般にソフトウェアのバグの発生源、バグの検出過程、その修復費用の分析等には、ソフトウェアのライフサイクルの工程を計画の要求仕様から設計、製作、検査及び保守といった開発から利用までの各段階ごとに検討していく考え方がある（図2）。

このライフサイクルの中で最も難しいと言われる Requirement の領域を実は二つの領域に考える必要がある。

Requirement	要求定義 ↓
Specification	仕様決定 ↓
Design	システム設計 ↓
Implementation	プログラミング ↓
Testing	テスト ↓
Operation	運用 ↓
Maintenance	保守

図2 ソフトウェアライフサイクルの例
(ウォータフォールサイクルモデル)

即ち、この Requirement の段階で想定しなかった或いは想定できなかった事象までも含むのがソフトウェアの安全性であり、Requirement の段階で想定した範囲についての事象を考えるのがソフトウェアの信頼性の問題と区分することができよう。このように安全性あるいは信頼性の視点が異なることによってアプローチも違ってくる場合がある。特に、ソフトウェアの安全性の場合、一つのソフトウェアの問題に限らず、構築するシステム、組み込まれるハードウェア全体の中でどう係わるかを考えなければならない。

4. あるサイズ以上のソフトウェアに関する問題点

以上のようなソフトウェアの信頼性・安全性確保の観点から一定規模以上のプログラムを対象とした場合の現実的な問題点は次の通りである。

- (1) プログラムを数学的に表現し、演算させることができないために、フォーマルな検証ができない。
- (2) あるサイズ以上になると、内部状態数やその組合せが極めて多くなる（特にアナロ

グ値を扱う場合)。状態機械によっても検証できない、繰り返し実行される構造体も少ない、などが起きる。従って状態とその組合せを検証可能なレベルにとどめる様な配慮が必要である。

- (3) 通常の手続型プログラムでは、文面の制御手順が人の思考過程と異なるために、プログラムを読んで人為的に検証することに限界がある。例えば、人の思考過程に近いプログラム言語で記述し、その記述を検証可能な抽象機械などを用いて検証し、コードへの変換を行う、等の工夫が必要である。
- (4) オペレーティングシステムについては、次の様な問題がある。通常のマルチプログラムオペレーティングシステムを用いた非決定性ソフトウェアでは、予め静的に実時間軸上での動的振る舞いや、処理のタイミングを検証することが難しい。実行させて検証／確認する場合には、実際の使用環境を模擬した試験環境を設定することが容易ではない。動的振る舞いを静的に検証できるようにするためには、ハードウェアとの非同期的インターフェイス（例えば、ダイレクトメモリアクセス（DMA）や外部割り込み、通信プロトコール、バス渡り等）が障壁となる。これらのことから、割り込みを許さない等非決定性のできるだけ少ないオペレーティングシステムを用いる必要がある。

5. 高信頼性／高安全性ソフトウェア

前記のソフトウェアハザード分析及び外界へのリスクアセスメントを除くと、工学において高信頼化のために用いられてきた技法と高安全化のための技法には特に差異はない。

要は観点の差にあると言える。

共通の技法、手法としては、次のようなものがある。

(a) 要求仕様の正当性

プロトタイピングパラダイム、操作的仕様パラダイム、自動変換可能形式的仕様パラダイム

(b) 設計仕様の正しき向上

検証可能モデル、公理的仕様、表示的仕様、性能予測

(c) V&V（検証と確認：ユーザの曖昧なニーズとプログラム間のギャップを埋める）

検証：仕様とそれに従って製作された実体との等価性を公理、定理、検証可能モデル等によって証明する。

確認：最終生産物が仕様の基になっているユーザのニーズを満たしている度合いを問題領域において確認する。仕様はユーザのニーズを完全に表現していない。

(d) ソフトウェア信頼度成長評価と残存フォールト推定（実務レベル）

(e) ソフトウェアダイバーシティ

設計ダイバーシティ：設計アルゴリズムの違うものの組み合わせ

プログラミングダイバーシティ：プログラム言語の違うものの組み合わせ

N-version ダイバーシティ：異なるコンピュータのソフトウェアを組み合わせ

*ハードウェア故障はランダムに発生するから同じものを多重化すればよいが、ソフトウェアの故障はそうではなく、同じようにエラーを発生するため。

（開発者、アルゴリズム、プログラム言語を変える等）

(f) ソフトウェアフォールトトレランス

(g)実行時セルフチェック（最近重視されている）。

6. ソフトウェア研究会の動き

現状のソフトウェア工学では「信頼性の高い人間がやはり信頼性の高いコンピューターを使って如何にして高信頼度のシステムを作るか」というのが最大の関心事である。

(1) 不良（バグ）の混入防止（当面の重点）

- ・要求分析等
- ・数人によるチェックアウトレビュー

(2) 不良の摘出

いくらバグ混入防止の努力をしても不良は完全になくならないため、その上で各種のテストを実施して出荷前までにはできるだけ信頼計の高いシステムにする。そのためのテストの手法、テスト項目の設定等について何度も失敗を繰り返しながら必要に迫られて対応を行っているのが生産現場の現状である。

(3) エラー検出の実験例

数年前に研究会で発表されたショッキングなデータがある。8人の被験者（有数企業のプログラマー）に予めバグを入れたプログラ

ムを提示し、時間無制限でバグを発見させる実験を行った。そのうちに3人が時間のばらつきはあるが11個のバグを検出し、最も少ない人で4個検出した。このプログラムは約170ステップ数のPL-1で書いた事務処理用のプログラムであり、プログラムのレベルとしてはそれほど難しいものではなかった。実験環境の詳細は不明だが、結果としては驚くべきことは、混入させたバグ数が実は15件であった。即ち3人が最も多く11個検出したが、それでもバグは4個も残っていたということである。このことは、現状のプログラム開発の状態を端的に表している。

即ち、

- ・作成者は正しいと思って作っており、間違いはない、バグはないという先入観、期待感がある。

- ・作成者はどこかで自分に妥協してしまう。

将棋の例でいうと、詰め将棋で7手詰めくらいまでだと何とか解こうとする。それは必ず解があり、しかも手数が判っているとの情報がある。ところが、将棋の本番ではそれほど先まで読まずに手を動かしてしまう。同様

表1 外部仕様テストと内部仕様テスト

No.	テスト分類	基礎となる仕様	特長	
			長 所	短 所
1	外部仕様テスト	ソフトウェアの外部仕様 { ・プログラムまたはモジュールをブラックボックスとして見た仕様 ・ユーザーから見た仕様 }	ユーザーの立場からのテストができる	外部仕様には現れない内部仕様上の特殊な箇所のテストが漏れる
2	内部仕様テスト	ソフトウェアの内部仕様 { ・プログラムまたはモジュールの内部構造を規定する仕様 ・開発する者から見た仕様 }	内部仕様上から網羅的にテストができる	外部仕様上規定されていながら、実現されていない部分のテストが漏れる

にバグ検出には「何か得たいの知れないものに立ち向かう」というような状況が非常に強く、これを定量的に把握できないというのがこの分野の最近の動向である。

(4) 外部仕様テストと内部仕様テスト

そうした定量化のためのアプローチの例を以下に示す。(表1)

外部仕様テスト：ユーザの立場からその要求事項に見合っているかをテストする。

内部仕様テスト：作成者がソフトのロジック等内部構造に着目してテストする。

後者が、プログラム部品の精度を高めるとする考え方に近い。大きなシステムは多重化すべきであるとの意見もあるが、そうしたシステムは多くのプログラム部品の集まりになっているわけで、部品の信頼度を上げなければ全体システムの信頼度は決して高くはならない。その意味で、まず部品の信頼度を徹底的に高めよう、そのうえで外部仕様テスト等で全体の信頼度を高めようとするのが現実的な取組である。

最終的にはこの外部仕様テストでシステムの信頼度を評価するが、現状では確立された検査方法、評価方法がある訳ではなく、経験的なノウハウベースで行っている。即ちどのようなプログラムならばバグで何ステップ毎にどれくらいあるか、またどれくらいのステップ数のプログラムに対しては検査項目をどうすればよいかとかいうのを経験的にデータを集めて、それを自分の作ったプログラムに当てはめて目標を定めて検査を行うものである。この方法の欠陥は、経験的な指標に見合ったバグが摘出できるとそれで安心してしま

い、自分を疑うということはしないものである。これにはプロジェクトリーダーが試験項目を追加すべき等のアドバイスを行って対応しているのが現状である。こうしたことを繰り返し、最終的にはこの程度の信頼度だからこの程度で経験的に大丈夫だろうということで出荷している。このようにいままでの経験が活かせるような範囲では大きな問題はおこさないが、この経験が効かないものの場合にトラブルを起こす。こうしたことがソフトウェアの信頼度の中に含まれる。従ってソフトウェアの信頼度というのは、捉え方が非常に漠然としており、担当者あるいはプロジェクトリーダーの技量に依存していることになる。

前段の部品のレベルでの信頼度を定量的に行うことを検討してみる。従来からテスト方法であるコード、エッジ、パスを使う。例えばコードはフローチャートで書かれたプログラムをコードレベルで一度通ればテスト終了という方法である。エッジは、フローチャートでいう制御線あるいは連結線のパスを全部一通り通ればテスト完了という考え方である。パスは入口と出口を抑えておいて、その間の全ての経路をテストする方法である。勿論このパスが最も良い方法である。しかし、このパスは、判定命令あるいは分岐命令の数を N 個とすると 2^N 程度の膨大なパス数になる。性能追求型を大きなソフトウェアではとても適用できない。最近では、モジュールをできるだけ小さく作る。例えば東芝でのように50ステップぐらいつつにしようとする方法がある。この程度であれば、力ずくでもできる。もう少し大きな規模のプログラムに関する実験結果を図3、4に示す。これから、通常我々が作る200ステップ程度のモジュール

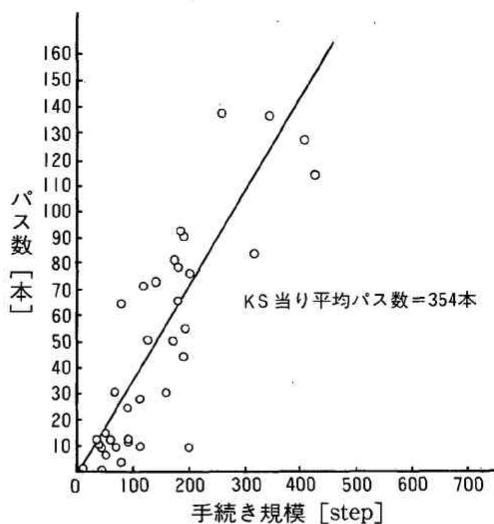


図3 手続き規模とパス数の関係

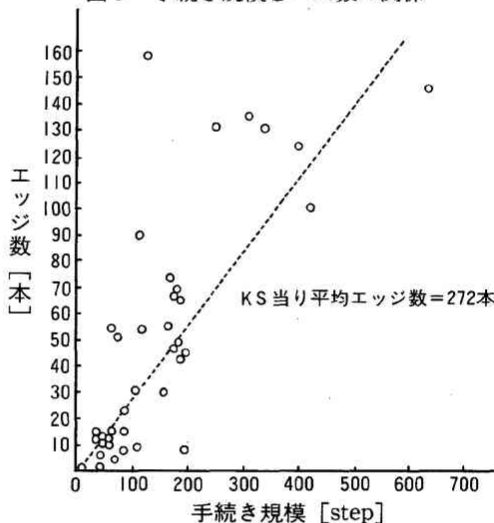


図4 手続き規模とエッジ数の関係

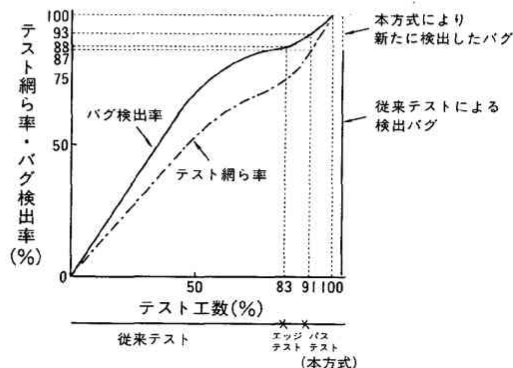


図5 効果例 (品質の向上)

だと、パスは100程度になる。このように、モジュール化してその中で全てのパスをチェックしようとするのが最近のソフトウェア開発の流れになっている。

図5にテスト工数とバグ検出率で示した品質向上の実験例を示す。この場合、ある時点でテストを終了しており、それで完全かどうかは自信はないが、従来のテスト方法、工数での場合には約80%の工数で約1割強のバグ数を残すやり方だったが、それに対してこのテスト後にどこのパスを通っているかどうかツールを使って確認した上で、通っていないパスに着目してプログラムを流してみると、残りの10%強のバグ数が残りの20%の工数増で検出できたものである。今後信頼度を上げるためには、こうした方法を使って、テストの工数、設計の工数を増やししながら、残り1割強のバグを叩き出すというやり方を繰り返していかなければならない。

7. 原子力におけるソフトウェア信頼性に関するアクション

(1) 原子力におけるソフトウェア信頼性研究の概要

原子力の分野で計算機の高度利用及びソフトウェア信頼性に関する研究開発の動きをあげてみると、以下の通りである。

- ・ECの情報処理技術研究開発 ESPRI ソフトウェア信頼性プログラム
- ・IAEA, OECD等による原子力発電V&V Standard 作り (実機適用では CANDU 炉が既に実施されている他、英国 Sizewell-B, 我が国の ABWR に導入が予定)
- ・MITIマンマシンシステム (知識情報処理

ベースの MMI の構築)

- ・ 科技庁 ADES プロジェクト (将来的な原子力発電の開発について、計算機設計の全面的採用)

(2) OECD ハルデンプロジェクトにおけるソフトウェア信頼性研究

代表例としてハルデンプロジェクトにおける高信頼性ソフトウェアのための技術開発を見てみる。このプロジェクトに参加している国は英国、フィンランド、西ドイツ及び日本であり、具体的には次の二つの研究項目がある。

① Software-Diversity の研究

英国、フィンランド、日本の3機関が同一の仕様の下にソフトウェアを作成し、同一の指標で比較検討するものである (エラーの種類、発生状況)。

具体的には英国のある機関がマイクロプロセッサでいずれ (原子力で) 実用化したと考えているものについて Requirement を作り、それに対して英国、フィンランドの各一つの機関及びハルデンが全く独立にプログラムを作成し、その成果を相互に比較した。実施に当たって連絡方法、問い合わせの仕方、互いに情報交換はしない、記録をとる等約束ごとの上で行ったものである。それぞれの機関がローカルテストを行って一応の成果をだし、そのうえで最初に仕様を出した英国の機関が用意したテスト要領に従ってテストを行ったものである。そこで、様々な問題が出てきた。この Acceptance Test で分かったのは、最初の Requirement 提示に起因するエラーが約 50% あった。これを Acceptance Test で除去した。次にこの 3 つを一箇所に集め、同

じ問題を一齐にやるという方法をとった。

その時、またいままでみつからなかったエラーが数個あったが、この原因はやはり最初の Requirement にあった。このように (完全なソフトウェアの作成は) 難しいというのがわかる。付け加えると、バグが見つかったのは、ランダムにインプット空間を網羅するような入力条件で行う back to back テストで見つかったものである。約 60 万回実施して彼らはそれで (完全ではないが極めてエラーの少ないのが出来たとして) 十分だろうと判断している。

この一連の活動をまとめると以下のことが言える。

- ・ ソフトウェアの Diversity を高めることがシステム全体の信頼性を高めることにつながる。
- ・ Requirement の段階で十分な対策が効果的である。
- ・ back to back テストにより相当信頼性が向上する。

こうした努力の結果、トータルの信頼性のレベルは非常に高いレベルにあるとしている。従ってこの程度の信頼性の高いものを多重化して使えば、当初の要求仕様にあうものとして使い得るのかという印象を持っている。原子力ではこうした方向を目指している。

② Software Reliability Assessment の研究

CAL (Common Assembler Language) 等の開発を行っており、これはプログラムをアセンブラー言語に変換して論理との整合性を評価しようとするものである。

8. エキスパートシステム (E/S) の信頼性

先に述べたように、計算機技術のハード的

ソフト的な進歩に伴い、運転の場にそれらを直接的に適用しようとする動きがある。安全保障系のソフトロジック化もその一つであるが、ここではヒューマンファクターの観点から開発が進められている運転支援システムの中核となるエキスパートシステムの信頼性について検討してみる。

(1) エキスパートシステムの信頼性に関する問題点

プロダクションルールを用いた E/S を実際の電力系統で運用している例があるが、これまでの結果から挙げられた問題点は次の通りである。

- ・メンテナンスができない。ルールが沢山入っており、入力した人は判っているのかも知れないが、第三者には判らない。
- ・if-thenで書くルールは原因—結果だけの浅い知恵である。この場合、全てのルールを網羅して入力しないとけなくてきりがない。そのため(知識獲得も含めて)深い知識による推論を取り入れないとフレキシブルな対応ができない。
- ・E/SのV&Vは難しい。何故ならシステムティックな V&V 手法が確立していないからである。
- ・real-time性の問題。推論が入ると、対象の応答時間が不確定である。

(2) 深い知識・浅い知識

深い知識を使うという方法で first principle から推論して問題解決しなければならない場合もある。もし、response-time が短い場合には、時間的余裕がないためルールベースで対応せざるを得ない。安全確保のためには、ある所で区分けをして、その範囲までは、ルールベースで迅速に措置し、時間的余裕が有

る場合には深い知識を使って推論し判断することになる。要するに、要求がたくさんあって、早く判断したい場合と、それでカバーできない場合とで使い分けるようなことになる。

例えば、安全系は早い判断が必要だから、ハードシステムで対応を行い、そうした設定の上にそれでカバーできないような場合に E/S を使って深い診断をするという手順になる。E/S を使う場合にはルールベースをなるべくやめて深い知識を使うべきであるというような割り切り方の問題がある。

このように深い知識は実行するのに時間がかかり、実時間性が要求される場合には向かない。それに対する解決策の一つの手法としては次のような例がある。まず知識を獲得する時に最初からモデルを使って深い知識から獲得していく。というのはユーザの深い知識は比較的に出やすいからである。そうした深い知識を獲得し、次に知識コンパイラを用いて、浅い知識に変換するというものである。この考えはまだ研究段階であるが、知識獲得レベルでは深い知識を沢山集め、その上でプログラマーはコンパイラを用いて推論の効率を上げるという方法である。

9. 最後に

以上、ソフトウェア工学及びユーザとしての原子力の立場からソフトウェアの信頼性の問題を議論してきた。これまで述べてきたように、ただソフトウェア単独で考えるのではなく、系統的にハードウェア、更にオペレータである人間を含めて考えないといけない。こうしたハード、ソフト及び人間の中でも特に人間そのものの信頼性に大きく依存す

るのが現状である。

「コンピュータは信頼できない。しかし、人間はそれ以上に信頼できない」(ギルプの法則)とあるように、信頼できないコンピュータと信頼できない人間を組合せて全体として如何に信頼できるシステムを作るかという困難な問題に取り組むことになる。

更に、運転支援システムのようなエキスパートシステムの利用に際して、その信頼性をどう評価するかについての方法論の確立といった課題も多々あり、ソフトウェア工学やユーザだけに止まらない多方面からの積極的なアプローチが望まれるところである。

*本文は、1988年12月19日に当研究所が主催した確率論的安全評価に関する国内シンポジウムにおけるソフトウェアの信頼性につい

てのパネルセッションの討論内容を研究所側で取りまとめたものである。なお、当日の司会及びパネラー諸氏は以下の通りである。

司 会：吉川栄和（京都大学原子エネルギー研究所助教授）

パネラー：鴻坂厚夫（原研東海研原子炉安全解析室長）

有沢誠（山梨大学計算機科学科助教授）

松本吉弘（東芝重電技術研究所技監，現在は京都大学）

宇賀丈雄（原子力工学試験センター安解所原子炉コード整備第三室長）

花田収悦（NTT ソフトウェア研究所長）

（くりはら としお 主任研究員）

インターエージェンシー(IAEA, UNEP, UNIDO, WHO) ワークショップ「大工業地帯におけるリスク管理」 に参加して

松 井 一 秋

1. はじめに

本年4月17日より1週間、ギリシアのアテネで国際原子力機関(IAEA)、国際環境計画(UNEP)、国連産業開発機構(UNIDO)世界保健機構(WHO)共催による「大工業地帯におけるリスク管理のための災害同定評価と緊急時対応」と題するワークショップが開催され、参加する機会を得た。

参加のきっかけは、放射線医学総合研究所の小林定喜先生からのお勧めによるものであるが、私どもの研究所は設立のごく始めの頃から、安全解析、リスクアナリシスには興味を持っていて、特に近藤駿介先生(東京大学)に御指導を願ってきた経緯がある。当初、核燃料サイクルのバックエンドへの適用を試みたり、近頃は、リスクの比較、安全目標の考え方、新型炉の設計目標などのテーマに取り組んでいる。また、毎年暮れにはPSAシンポジウムを開催してきている。

本文を読んで頂ければわかるように、この種の問題には今後わが国でもできるだけ多くの方々が関心を寄せて下さるのがよいと感じており、この報告もできるだけ肩のこらない、いわば印象記の形にした次第である。

2. プロジェクトの概要

2-1 プロジェクトの目的

過去10年間に、先進国と開発途上国の両方で大災害事故が発生し、安全問題における意志決定として、大工業地帯に集中している危険な産業活動のリスクを評価し、管理する緊急の必要性が指摘されてきている。言い換えると、このプロジェクトは、安全の問題を、人間、社会、環境に対するインパクトとして捕らえ、また、多くの場合、工業に関連する活動が問題を起こす場合が多いので、それがある程度広い地域の問題として考え、分析し必要な対策を検討しようとするものである。

特に、開発途上国のように、急速に工業化が進み、既に問題が顕在化している場所や、どうしたらよいのか、手をこまねいている国々もあるので、实际的な面での援助(国別のケーススタディの実施や、専門家育成のためのトレーニング)を検討しようとしている。

ワークショップは、このプロジェクトのスコープに重要な問題が包含されるべく実施され、第1回は1986年10月にパリで開かれ、今回はその第2回にあたる。ワークショップの目的は、リスク評価(以下RA)や管理にお

けるケーススタディ実施経験の交換、将来計画の議論を中心としている。

2-2 プロジェクトの基本的性格

要するに、特に原子力分野で発達した定量的、安全評価、例えば PRA, PSA を他分野や広い地域に応用して役立てようとしている。IAEA 主体だが、そこで UNEP, UNIDO, WHO を巻き込んでいる。

問題意識の点で各機関を類型化すると、次の3つが見受けられる。

- ① 特に後進国のケースで、既に環境問題、従業員健康等々の問題が現実にある所——ブラジル、フィリピン、ユーゴ。

一体どうしたら良いのか教えて頂戴という態度。ひょっとしたらお金もつくかもしれないと思って、色々と提案はしている。これらの問題の多くはいわゆる労働環境、および公害問題に係わっている。日常的な問題に限ると、いわゆる先進国ではこの種の問題はほとんどないとも考えるが、大気、水質、土壌という環境汚染という観点では世界共通とも考えられる。

- ② IAEA 事務局

どちらかと言うと、かなり定式化されたリスクアナリシスを適用したらどうかと考えているようだ。(ノヴェニョのペーパーに代表される。)

- ③ リスクアナリシスやその他実際的な分析を実施している国々の人々——イギリス、オランダ、オーストラリア……

実際的であるので、フォーマルかつ詳細な RA に対しては懐疑的だが、基本的には良く似ている。センスとしてイギリス的で、アメリカの RA を好まない。

2-3 ワークショップの参加者

国際機関としては、IAEA(2)UNIDO(2)UNEP(2)WHO(1)ILO(1)であり、うち UNIDO の部長、ILO の代表は日本人であった。(少しずつ日本人の国際公務員への進出が始まっている。)各国の代表としては、役人のような人が多い。民間人は少ない。民間としては、イタリアのモンテエジソン、スウェーデン、日本(?)のみであった。参加者の1/3~1/2は原子力バックグラウンドを持っているように見える。(特に先進国は)

3. 主な発表

3-1 異種エネルギー間リスク減少の費用効果研究

IAEA に標記の共同研究計画 (CO-ORDINATED RESEARCH PROGRAMME) が設立され、第1回ミーティングは1984年5月マニラ、第2回は1986年リオデジャネイロ、第3回(最終)は1988年2月にボンベイで開催されている。IAEA のプロジェクトマネジャーは、A. NOVEGNO 氏で、今回の Technical Committee Meeting(TCM)も、流れとしてそのプロジェクトの延長線上、発展したものと考えられる。日本からは放医研の藤本氏が参加していた。今回の TCM では、本プロジェクトの総括を、スイスのチャクラボーティ氏(インド人)が行い、ケーススタディー(25件)のペーパーの約半分が会場に用意されていた。

費用効果分析の方法論については、IAEA-TECDOC-383(1986)が出版されていて、ケース・スタディーの結果と総括についてもそ

のうち出版されるであろう。ケーススタディー25件は、原子力と石炭を中心に（水力、石油、地熱も各一件あった）、その燃料サイクル（採鉱、廃棄物処理、輸送を含めて）にもバラエティに富む。またリスクのタイプも、従業員および公衆の健康さらに環境影響を取り扱っている。ケーススタディーの結果は、色々の意思決定者、例えば規制側、運転側、設計者、・・・の、種々の意思決定段階（事前、事後、の評価ないしは実証）に使われたとしている。

3-2 クリフトン氏のスピーチ

J. J. CLIFTON, SRD/UKAEA

“HAZARD IDENTIFICATION SCHEME FOR RISK MANAGEMENT”

まずリスクの定義については、HAZARDと対比して、HAZARDは害（HARM）をなすもので、RISKはそのポテンシャルだということ。分析法ないし分析の名称として、PSA/QSA/PRA/QRA というのがある。ここで

P : PROBABILISTIC

S : SAFETY

A : ANALYSIS OR ASSESSMENT

Q : QUANTITATIVE

R : RISK OR RELIABILITY

どれでも本質は同じだが、自分としては、QSAを好むが、理由は主としてPAにある。

このQSAの用途としては、次のアクティビティがある。

1. 設計

2. プラントレビュー PLANT REVIEW
（既設工場にたいして）

3. 規制ニーズ

4. 操業制限 OPERATING RESTRICTION

5. 計画聴取 PLANNING INQUIRIES

6. 緊急時計画

7. 保険

次のこのTCMでのトピックスである工業地域へのRAの応用については、まず、フルスコープRAを行う前に、発生頻度、影響の大きさを考慮して何を対象とするのかスクリーニングを行うべきだとしている。なんでもかんでも確率データを用意して分析するのは、手間ひまかかって結果は初めからみえていたというケースが多い。

まず分析対象の地域とどんな災害を考えるのかを決定する。続いてのステップは情報の収集だが、これには考えなければいけない化学物質の種々の特性のような基本的な情報から、地形、気象、人工動態、プラントに関する色々な情報、プロセス、インベントリー等のそれぞれの分析に特有の情報となる。

ここで初期災害同定（INITIAL HAZARD IDENTIFICATION）が可能になる。通常運転と事故時の想定が対象で、事故については、急性死亡、健康と長期的影響、財産損害（経済的損失）生態系への害（大気、水、大地）を考えて、一体何が問題なのかを検討して明瞭にする。この結果として、一層の検討を要する問題は何か、それらのプライオリティ付けが可能になる。続いて、

A. システム ディスクリプション

B. ハザード 同定

C. 影響 分析

D. ハザード 発生確率の定量化

という段階があるが、今までの経験（歴史的データ）のレビューが大事だ。

しかし、大部分の大事な問題は、基本的な検討で済むことが多く、初めから詳細分析を目指すことはない。

ここで、WHO、BNLのハミルトン氏からのコメントがあり、定量的評価としては、保守的な値は使わずに、ベスト・エスティメイトを使うべきだと主張した。理由は、いずれにしても、評価、予測なのだから、過度の保守性は無用の誤解を招く、ということである。翌日、ギリシアのある大学の先生が、石炭火力排煙中の放射能による被爆とリスクについての研究を発表した所、方法そのものはUN-SCEAR(?)等によっているにもかかわらず、あまりにも保守的な前提に基づく評価だとハミルトン氏は主張した。

3-3 ブロッカー氏のスピーチ

E.F. BLOKKER, ENVIRONMENTAL
CONTROL AGENCY

RIJNMOND, NETHERLAND

RIJNMONDは、オランダ南部、ラインのデルタ地帯を含む地方で、ロッテルダム市に近い。ロッテルダムから西方の北海までの地帯は、港湾、製油所、石油タンク、化学工場等が多数存在し、1日に外航船は約100隻、バージは約300隻往来している。そのような訳で、付近の大気、水、土はかなりの程度汚染されてきており、過去においては幾つかのRA研究が実施されている。

イタリーのセベソ事件(ダイオキシン放出事故)以後、ECではプラントの安全確保のための「セベソ後指令」(POST-SEVESO-DIRECTIVE)が制定され、それに基づくオランダの規制としては、実質的にはPRAを要求している。

この規制の一部としてのPRAは考えているプラント内で最も災害の大きいとみなされる装置のみに対し、環境リスクではなく公衆の健康リスク評価を行う。そのPRAのミニマムとして、

- A. プラント外に被害をもたらす可能性のある全ての事故の確率と被害の程度の評価
- B. 横軸に死亡者数、縦軸にそれをもたらす1年当りのそのプラントの事故の確率を示す両対数グラフ上へのプロット(集団リスク)
- C. プラント周辺で屋外にいる個人の年間死亡確率が 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} となる等確率線を描くこと(個人リスク)

が要求されている。オランダ全体で約85の工場がこの分析報告を1989年7月8日以前に提出せねばならないが、遅れるだろう。

オランダ政府は許容リスク基準を、1984年にLPGの生産、取り扱い、輸送、使用について設定したが、翌1985年には「環境保全計画、1986-1990」として一般化した。両基準とも議会の承認を得ている。

その基準とは、個人にたいして 10^{-6} 死/年以上は許容できず、 10^{-8} 死/年は無視できるというもので、その間のいわゆるグレーゾーンではALARAを適用しようとするものである。この基準は現在満たされていないが、2000年までにプラント境界で満足されるように努力しようというものである。オランダにおける14~16歳の青少年の全ての原因による死亡確率は約 10^{-4} で他の年齢層に比べて低いが、この $1/100$ の 10^{-6} を基準としている。

集団リスクについては、10人死亡事故の許

容確率は 10^{-7} /年、 10^{-5} /年以上は許容不能として、それより大きい事故については N^2 で確率を下げる。例えば100人死亡事故では、 10^{-7} /年以上が許容不能となる。

近年になって、特に1987年のブルントランド(Brundtland)レポートにより、健康と環境リスクについての関心が高まり、総合的な環境リスク管理の強力な政策が望まれている。本年中に政府は、以上の線に沿った声明を公表する予定である。

環境と調和の取れた持続的な経済発展を前提として、汚染物質の放出の激減と、総合的な環境リスク管理方法論の開発を求めている。政策計画のアペンディクスの題は、「マネージング リスクス」であり、事故リスク管理のアプローチを、環境リスク管理へも適用すべきだと提案している。

いずれにしても、この線に沿って幾つかのスタディ、レポートが近い将来公表されることになる。

3-4 スミツ氏のスピーチ

J-S. SMITZ, UNIV. OF LIEGE, BELGIUM

前出のECのいわゆるポスト・セベソ・ディレクティブにより、ベルギーでも活動が始まっている。地域はワロンという所で人口約400万人、工場数は22である。1988年よりフェーズ2として、SEVEX (SEVESO EXPERT SYSTEM) という計画が始まっている。

事故シナリオとしては、故障とヒューマンエラーを考えて、それをトップイベントとする。環境影響としては表面水、地下水ネットワークも考慮して、3次元モデルを作ってい

る。

サイドごとの情報はデータとしてコンピュータに入れてあり、事故防止及び緊急時対応手順としての利用が考えられる。このプロジェクトには政府公共機関、産業と3つの大学が参加している。

安全解析には外部事象は含まず、実施後のその確証も予定している。

4. 印象

主催者であるIAEAとしては、ナショナルレベルでのケーススタディによる参加を各国に要望していて、この限りにおいて、我が国からの貢献は諸般の事情からいままの所難しいかなと思われる。京浜工業地帯、あるいは広く東京湾全体の工業と環境の関係の分析研究(個々の工場別のデータに基づく)でもあれば、プロジェクトの目的と合致するのではないかと考えられる。多少、調査の余地はあると思うが、我が国の場合、現場ではまず予防保全の立場を取り、それを徹底しようとすると考えられる。万が一の際への対応としては、災害時の体制作りと、多分サイト内における訓練であろう。ある程度広域的な対応に関する取組みも、例えば震災等を想定してありうる。地域的であつ、時間的にも広くカバーし、なおかつある程度定量的な分析の総括的なドキュメントあるいは計画でもあれば、途上国の参考にもなるだろうし、本プロジェクトの意図に合致するのだろう。

但し、問題が、低確率、大被害(LP/HC)の事象についてであるとする、我が国の場合あまり研究事例が多くないのではないかなと思われる。非常に稀な事象の発生確率自身わか

りやすいとは言えないが、確率的な考え方へのなじみが薄い事にも起因している。更に、前述の予防保全と災害対策により、対策が取れているとして、「くさいものにはふた」的に、これ以上のスタディーを拒否するようなことが多いのではないかと恐れる。

すなわち、我国では、特定の具体的問題について、リスクアナリシスを実行することは今の所難しいのではないかとと思われる。また、情報のアベイラビリティにも、我国の場合障害が大きい。特に機器の故障率やヒューマンエラーの統計については、工場や分業の不浸透性の壁はあまりに大きい。しかし、原子力については急務になるのではないかと思うが、巨大技術についての透明性が必須の条件

として要求されるようになるのではないかとと思う。すなわち、専門家が、あるいは巨大企業が、政府が、何か訳のわからないこと、あるいは恐ろしいことをやってのけて、我々の子孫や自然に取返しのつかないダメージを与える可能性があるのではないかという事に対しての、まじめな答、その努力が要求されていると思う。

現実的な政策ないし方針の意志決定のみならず、このようなことに対しても、将来のリスクアナリシスは応えていけるのではないかとと思っている。勿論、今のレベルのリスクアナリシスの方法論で充分だという訳ではないのだが。(まつい かずあき 主管研究員)

エネルギー産業の経営多角化について

岸 孝 雄

1. まえがき

近年、産業構造の転換、技術革新の進展等に伴いエネルギー産業においても、経営多角化への動きが活発化してきている。さらに国の規制緩和による民間活力の増大をはかることが強く要請されており、その流れにおいて、エネルギー産業の多角化が重要な課題となってきた。

また、エネルギー産業は、これまでも地域社会において大きな役割を果たしてきたが、今後は、地域振興の中核的役割を果たすことがより一層強く期待されている。

しかしながら、その路線は、必ずしも平易なものではなく、多くの試行錯誤を要するとともに、さしあたり解決すべき課題もあると考えられる。

このような点を背景として、当研究所において平成元年2月26日に「エネルギー産業における経営多角化と課題」と題して、勉強会を開催し、各エネルギー産業分野（石油、ガス、電力）における経営多角化の動向ならびに今後の進むべき方向等についての現状認識を深めた。これを参考とし、各エネルギー産業の経営多角化の動向および課題について概要を述べる。

2. 新規分野への進出(経営多角化)の意義

一般的に企業における新規分野への進出（経営多角化）は、技術、設備、人材等の有形、無形の経営資源を有効に活用し、成熟した市場からの脱却ならびに企業業績の変動に対するリスク分散を図るとともに、企業の活力を増進させ、そして地域の豊かなコミュニティライフ創造に寄与していくことはいうまでもない。

したがって、エネルギー産業においても同様と思われるが、本来の責務であるエネルギーの安定供給が最も重要であることはいうまでもなく、他の産業と全く同様とはいえないであろう。

特にガス、電力事業においては、公益事業の健全な事業経営を維持する目的で、兼業という形で新規分野への進出は、ガス事業法第12条（兼業規制）および電気事業法第12条（兼業規制）により、兼業規制が行われており、監督官庁である通商産業大臣の許可が必要とされている。したがって、事業者は経営資源の多角的な活用に際しても、多角化部門が本体事業の料金に悪影響を及ぼさないように、本体事業と多角化事業の会計分離や個別の事業進出にあたってリスク評価などによ

り、本体事業へリスクを及ぼさない方向でこれを進めていくことが重視されており、他産業との公正な競争条件を保ち、地域社会への信頼に値するもの等に限定されるべきであるとの考えが強いようである。

また、ガス、電気事業において新規分野への進出にあたり、これまで最も盛んに行われている出資方式による事業は、比較的自由に展開されているが、今後、公益事業者の新規分野への進出が、本格化するに伴いそのあり方やそれへの政策対応を検討する必要がある。

3. 経営多角化の現状

各エネルギー産業（石油産業、ガス産業および電力産業）の経営多角化の現状を表1－

1に示す。

石油産業においては、電力およびガスと比較して最も広範囲の多角化が試みられており、石炭開発及び石炭輸入販売拡大のみならず、燃料電池、太陽光電池のような新エネルギー分野、サービス・レジャー分野、先端技術分野および情報分野等の異分野への進出が図られている。

また、ガス、電気事業においては、良質かつ低廉なエネルギーの安定供給の確立をめざす経営理念をもとに、これまでは、本体事業もしくは、利用機器の販売等の本体事業周辺分野が中心となっていたが、最近、ガスについては、LNGの冷熱利用による冷凍食品や冷凍倉庫業への進出や炭素繊維製造への進出等が特徴的である。

表1－1 エネルギー産業における経営多角化の現状

分 野	石 油	ガ ス	電 力
本業周辺	プラントエンジニアリング	ガス関連エンジニアリング 大型ガス機器のリース ガス利用機器の販売 住宅設備販売	電気温水器・電磁調理器販売 電力関連エンジニアリング
エネルギー分野	地熱発電 石炭開発・販売 LNG 開発	熱供給事業	熱供給事業
研究開発分野 (先端技術)	炭素繊維製造（石油ピッチ） 複合材料（CERA, CFRP） 高含水ゴム バイオ（モノクロナール抗体） 太陽電池	炭素繊維製造（石炭系）	
情報分野	コンピューターサービス VAN 事業	電気通信事業 VAN 事業 情報システムサービス事業 無線通信	情報システムサービス事業 （機器・ソフト販売、システム設計） 電気通信事業 無線通信
サービス産業分野	マンション経営、ビル賃貸業務 タンク賃貸業務 カタログ販売、無店舗販売 不動産事業	LNG 冷熱利用事業（冷凍食品、冷凍倉庫業） 不動産事業 ホームセキュリティ事業 リフォーム事業 スポーツ事業	
その他	温室栽培 健康食品 産業用浄水液製造販売		温排水利用養殖・栽培

（出典：21世紀エネルギービジョン）

表 1-2 電力会社における電気通信事業への進出状況

(平成元年 5 月現在)

種 類 会 社	(地上系) 第一種通信 事業	ポケットベル	自動車電話	国際電気 通信事業	テレターミ ナル事業	第二種通信 事業	国際VAN 事業	マリネット 電話	調査会社
北海道電力	北海道総合 通信 (HOTnet)	北海道テレメッセージ (HTM)	北海道セル ラー電話						
東北電力		青森テレメッセージ 岩手テレメッセージ 秋田テレメッセージ 宮城テレメッセージ 山形テレメッセージ 福島テレメッセージ 新潟テレメッセージ	東北セルラ ー電話			東北情報ネ ットワーク サービス (TINet)			
東京電力	東京通信ネ ットワーク (TTNet)	東京テレメッセージ (TTM) 静岡テレメッセージ 山梨テレメッセージ 茨城テレメッセージ	日本移動通 信(IDO)	日本国際通 信(ITJ) 国際ディ ジタル通信 (IDC)	日本シティ メディア		国際ヴァン	東京湾マリ ネット	
中部電力	中部テレコ ミュニケー ション (CTC)	中部テレメッセージ (CTM) 静岡テレメッセージ 長野テレメッセージ	日本移動通 信(IDO)				国際ヴァン		
北陸電力			北陸セルラ ー電話 (HCT)				国際ヴァン		
関西電力	大阪メディ アポート (OMP)	関西テレメッセージ (KTM)	関西セルラ ー電話 (KCT)	日本国際通 信(ITJ)			ケーネット (K-Net)	関西マリネ ット	関西テレコ ムテクノロジー (KTT)
中国電力		テレメッセージ広島 岡山テレメッセージ 山口テレメッセージ	中国セルラ ー電話 (CCT)						
四国電力		香川テレメッセージ 愛媛テレメッセージ (ETM)	四国セルラ ー電話 (SCT)			四電情報ネ ットワーク サービス (YNS)			
九州電力	九州通信ネ ットワーク (QTNet)	九州テレメッセージ (QTM) 佐賀テレメッセージ 長崎テレメッセージ	九州セルラ ー電話 (QCT)						
沖縄電力		沖縄テレメッセージ (OTM)							

(注) 調査会社を含む

また、電気事業については、出資事業の形態を取っているが、電気通信事業の自由化に伴い東京電力㈱を始めとし、表 1-2 のとおり各電力会社において多少の差はあるが、第一種電気通信事業の電話事業のみならずポケットベル、自動車電話等の事業に積極的に参入している。

電力会社が、このような電気通信事業に参入してきたのは、電信電話事業の民営化にともなう自由化のみならず、電力会社の保有する発電設備、送電設備、変電設備、配電設備

等の膨大な設備に寄与するところが大きく、それからなる各需要家に至る送配電ネットワークに負うところが大きいといえ、このような保有設備の活用による成長分野への進出が注目を集めている。

また、各エネルギー産業においては、各企業が出資しているものも含め直接経営に携わっているものをあげているが、このほかに、電力、ガス会社においては、各々の事業法(ガス事業法、電気事業法)における多角化に対する規制の枠組の強弱に差があるものの、人

材派遣や活動資金の援助，地域開発や都市開発に関与してきており，地域振興の面で多大な貢献を期待されている点に留意する必要がある。

4. 今後の方向ならびに課題

エネルギー産業において進出を図りうる具体的な分野は，現在進出過程にあるものも含め次のようなものが考えられうるが，さまざまな課題が含まれているといえよう。

(1) 都市開発・地域開発関連

公益企業であるガス，電気事業に対し，情報通信サービスと電力・熱供給（「電力」・「熱」・「通信」のいわゆる3点セット）などのエネルギーサービスとを有機的に結合させ，コミュニティライフを総合的に支えるインフラストラクチャーの提供を行い，地域振興に果たす役割への期待が高まっている。特に，地方においては，技術，人材等においてガス，電気事業者がリーダーシップを取りうる条件が整っており，地域開発のハード面，ソフト面の整備において中核的役割を担い，他産業への波及を図っていくという方式は有効と思われる。

一方，都市部でのエネルギー供給においては，競合が激化しており（表2-1），ガス，電力においても，新規熱（・電気）供給にあたっての事業主体として共同あるいは単独の形で熱供給（または熱・電併給）の事業認可を受けており，今後さらに地域の再開発やニュータウン造成等に伴って，競争が激化するものと思われる。

また，電力・熱の供給を同時に行えるコ

ジェネレーションシステムの開発を行っている石油産業や他の産業からの参入が予想されており，地域振興に中核的な役割を果たそうとするエネルギー産業にふさわしい分野であり，電力事業の規制緩和とあいまってエネルギー産業の今後の新規分野として大きな成長が期待される。

表2-1 エネルギー間の競合例

項目	石 油	ガ ス	電 力
暖 房	灯油ストーブ	ガスストーブ	ヒートポンプ
厨 房		ガス炊飯器 テーブルコンロ ガスオーブン	電気炊飯器 電磁調理器 電子レンジ
給 湯		ガス瞬間湯沸器	深夜電気温水器
その他	コージェネレーション	コージェネレーション	電力供給

また，総合的なインフラにおいては，例えば，昨今の環境問題の時流からいえば，現行の自動車の代替と考えられているいわゆる低公害車のメタノール自動車，CNG自動車および電気自動車については，性能面等の技術的な種々の問題点はあるが，燃料補給面やメンテナンス部門でのインフラ整備等について，それぞれのエネルギー産業で十分寄与できる分野があり，石油代替自動車の普及促進を図るうえでも重要な役割を担っているといえよう。

(2) 情報通信産業等先端産業

情報通信事業に対しては，それぞれの企業で参入を始めたばかりであり，産業組織自体が形成途上にあるため，競争促進が図られ，結果的には望ましい状態にあると考えられる。

とりわけ電力事業にとって，電気通信事

業への進出は、これら通信網を利用することにより、電力供給機能と制御機能を統合させ、負荷制御や自動検針、ロードマネージメントなど、電力供給の信頼度向上や需要家の多様なニーズへの対応を行う上で十分メリットがあり、自らの設備、ノウハウを活用した成長分野と考えられている。このように蓄積された技術や設備の活用により、産業構造の高度化に大いに寄与できるものと思われる。

一方、ガス事業では、検針、集金ならびに法令により義務付けられている各需要家のガス器具の点検（3年に1回）などにより、各需要家のガス器具の種類や使用状況等のデータを管理し、需要家サイドのニーズに十分対応可能な体制をとっている。これらのノウハウを生かし、生活情報、機器のトラブル情報に限らずセキュリティ情報等の収集・提供を行うネットワークを構築し、地域経済社会における情報ネットワークの核になるに十分な能力を保有し、かつひとつの事業として地域社会に寄与できるものであろう。また、そうなることにより、各需要家のアメニティー性の高い要求に十分対応でき、かつエネルギー供給面にも十分活用できるものと思われる。

そのほかに、いずれのエネルギー産業においても、先端分野に対し、これまでに培った技術、人材等を活用してコンピュータ、新素材、バイオテクノロジー等の先端技術分野において広く研究開発を実施する方向にあり、有望な分野といわれている。

(3) 上流部門への進出

上記の都市開発・地域開発関連ならびに

情報通信産業等先端産業への進出は、各企業の技術、設備、人材等の経営資源の活用による経営基盤強化を中心とした進出分野であったが、今後のエネルギーの安定供給をはかるうえで将来の原料の安定確保の観点から上流部門への進出は、自然と考えられるが、それには、公益事業規制をうける電力、ガスにとって、多くの解決しなければならない課題があるように思われる。

表2-2に示す如く海外では、ガス事業が、上流部門の企業買収や子会社等による上流部門進出の例がみられるが、このような点が、すぐに参考となるとは、一概にはいえないが、その可能性を示唆していると思われる。

表2-2 海外におけるガス事業者の上流部門への参画例

事業者	状況
BG plc (英国) ブリティッシュ ガス	・ボーバレー社(カナダ：石油・ガス探査会社)を買収、株を51%取得(1987.12) ・エーカーオイル社(オランダ系北海油田探査会社)を買収(1988.6合意) ・現地企業と合併でガスペン社を設立(1988.6)
Socal (米国) サザンカリフォルニアガス	・公益事業特殊会社 Pacific Enterprises を構成し、その傘下の探査・開発会社による石油・ガスの探査・生産を実施 ・ Pacific Enterprises Oil and Gas Company ・ Pacific Lighting Exploration Company ・ Terra Resources, Inc.
BUG (米国) ブルックリンユニオンガス	・子会社による石油・ガスの探査・生産を実施 ・ Fuel Resources Inc. ・ Brooklyn Union Exploration Company, Inc.
AGL (豪州) オーストラリア・ガス・ライ ト	・ TMOC(豪州の石油・ガス探鉱会社)を買収(1987) ・ Alcorn(豪州の石油・ガス探鉱会社)の株式34%を取得(1987)

(4) その他

本体事業との関連のない全くの新規分野に進出する場合、本体事業と進出先の業界に与える影響について十分吟味する必要がある、総合的にみて経済合理性に乏しいと判断される場合には、進出を行わないのが妥当と考える。

また、地域独占が認められている公益事業の立場を考えると、進出先業界に大きな混乱を生ずるような場合は、進出は望ましくないといえよう。

しかし、その進出分野をこのようにクライテリアで厳しく限定したり、その活動に地域的な制約を課したりすることは、企業の自由な発想の芽を摘むことになるばかりでなく、なんとか進出しえたとしてもその成長性に極めて大きな制約要因となり、そのため本体事業を支える事業とならないばかりか、お荷物となりかねない。

電力、ガスの場合、本体事業が地域的に活動範囲が限定されており、その成長性に地域格差が生じつつあるが、その格差是正にも企業多角化が貢献するよう期待されるだけに多角化にあたっての制約は、極力少

なくすべきだといえる。

この点、公益事業規制を受けながら幅広い多角化の実績をもつ私鉄に対する鉄道事業法の考え方等を大いに参考することが望ましい。

5. まとめ

以上、エネルギー産業の経営多角化の動向等について述べてきたが、冒頭にも述べたように、エネルギー産業は、今後はさらに地域振興の中核的役割を果たすことがより一層強く期待されているゆえに、多角化による経営基盤の更なる強靱さが必要となろう。

近く、資源エネルギー庁においても本テーマを対象とした具体的検討が開始されるという新聞報道もあるが、適確なる方向づけを明らかにし、それにそっての条件整備が速やかに進められることを期待したい。

なお、末尾を以て本稿をまとめるにあたり、御指導、御協力を頂いた先生方に深く感謝の意を表す次第である。

(きし たかお 主任研究員)

第4回 確率論的安全評価 (PSA) に関する国内シンポジウム

The Fourth National Symposium on Probabilistic Safety Assessment

主 催 財団法人 エネルギー総合工学研究所

日 時 平成元年12月4日(月)～6日(水)

場 所 発明会館ホール

東京都港区虎の門2-9-14 ☎03-502-0511

参 加 費(予定) 6,000円 (プロシーディングス込み)

懇親会参加費(予定) 2,500円

なお、参加費は当日会場にてお支払い下さい。

プログラム委員会

委員長 近 藤 駿 介 (東京大学工学部 教授)

委 員 池 田 三 郎 (筑波大学社会学系 教授)

吉 川 栄 和 (京都大学原子エネルギー研究所 助教授)

高 嶋 進 ((財)原子力工学試験センター 原子力発電安全情報
センター所長)

田 中 功 ((財)電力中央研究所 原子力情報センター副所長)

飛 岡 利 明 (日本原子力研究所 リスク評価解析室長)

相 澤 清 人 (動力炉・核燃料開発事業団 動力炉技術開発部主任研究員)

榎 本 聡 明 (東京電力㈱ 原子力建設部副部長)

谷 口 武 俊 ((財)エネルギー総合工学研究所 主任研究員)

問い合わせ先 財団法人 エネルギー総合工学研究所

プロジェクト試験研究部

谷 口 ☎03-508-8894

エネルギー技術データハンドブックのお知らせ

データベースの整備については、わが国でも近年その重要性が認識され、多くのデータベースが作成されています。当研究所でもエネルギー技術に関する種々のデータの体系化を目指し、昭和53年からその研究開発に取り組んでいます。

昭和63年度は石炭技術と電気自動車のデータハンドブックを作成しました。石炭技術編では石炭の利用技術に関する諸データの中で特に重要と思われるものに解説を付け、電気自動車編では技術開発の動向とその将来評価のまとめを行いました。このデータハンドブックの目次を下記に示しますので、御関心のある方は下記の連絡先に連絡して頂ければ幸いです。

目 次

◇石炭技術編（第4次版）

1. 石炭資源と性状、分類	1
2. ハンドリング	71
3. コールクリーニング	151
4. 石炭燃焼	265
5. 石炭ガス化	343
6. 石炭液化	535
7. 石炭灰	727
8. 石炭利用と環境	889
9. その他	1019

◇電気自動車編（モータ・コントローラ）

1. はしがき	1
2. わが国技術開発の経緯（大型プロジェクト、技術研究組合）	2
3. 米DOEによる技術開発	21
4. 特許の動向	27
5. オフロード車（ゴルフカート、バッテリーフォクリフト） よりみた技術動向	32
6. 関連ハイテク技術の動向	44
7. あとがき	64
データベース	67
(1) 技術情報	69
(2) 特許情報	133

連絡先

（財）エネルギー総合工学研究所

下岡 浩

☎03-508-8894

研究所のうごき

(平成元年4月1日～6月30日)

◇ 理事会開催

第29回理事会

日 時：6月19日(月) 12:00～13:00

場 所：経団連会館(9階) 901号

議 題：

- 第一号議案 昭和63年度事業報告書及び収支決算書(案)について

◇ 月例研究会の開催

第60回月例研究会

日 時：4月28日(金) 14:00～16:00

場 所：大和生命ビル スカイホールA, B

議 題：

- (1) 地球規模の環境問題と新エネルギー省エネルギー政策の新たな展開
(資源エネルギー庁石油代替エネルギー対策課長 大津幸男氏)
- (2) 低温核融合について
(日本原子力研究所東海研究所化学部長 立川圓造氏)

第61回月例研究会

日 時：5月26日(金) 14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F) 1303会議室

議 題：

- (1) 技術システムのリスクマネージメント—確率論的安全評価の適用性—
(プロジェクト試験研究部主任研究員 谷口武俊)
- (2) 日米通商関係について—ハイテクをめぐる摩擦を中心に—
(通産省通商政策局通商政策企画室長 日下一正氏)

第62回月例研究会

日 時：6月30日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館(6F) 中ホール

議 題：

- (1) 中小型軽水炉開発の必要性及び開発目標
(プロジェクト試験研究部主管研究員

松井一秋)

- (2) 世界的視野から見た長期エネルギー問題に関する懇談会(世界エネ懇)報告書について
—地球レベルでの経済・エネルギー・環境の調和に向けて—
(資源エネルギー庁企画調査課課長補佐 真田晃氏)

◇ 主なできごと

- 4月10日(月) 第3回リゾート等特定地域における電気自動車の適用可能性調査作業部会開催
- 11日(火) 第1回電気自動車の導入とその社会、経済、環境・エネルギー的インパクトに関する研究委員会開催
- 12日(水) 第1回シミュレーション技術部会開催
- 18日(火) NIRA自動車研究会開催
- 24日(月) NIRA自動車技術研究会開催
- 26日(水) 第1回電池評価機能に関する意見交換会開催
- 5月10日(水) 第1回天然ガス勉強会開催
第1回スーパーシミュレータ打合せ
- 11日(木) 第1回FC委員会開催
- 19日(金) 第2回地熱資源量の評価に関する調査委員会
第2回天然ガス勉強会開催
- 25日(木) 第2回電池評価機能に関する意見交換会開催
- 26日(金) 第2回スーパーシミュレータ打合せ
- 29日(月) 第4回意識構造検討委員会
- 31日(水) 第1回エネルギー需要予測検討委員会開催
- 6月6日(火) 講演会「国内天然ガス資源」開催
- 7日(水) 第2回シミュレーション技術部会開催
- 8日(木) 第3回天然ガス勉強会開催
- 9日(金) 第4回天然ガス勉強会開催
- 12日(月) CO₂対策と経済成長に関する勉強会打合せ

- 14日(水) 第64回原子力プラント運転の信頼性に関する研究会開催
- 16日(金) CO₂対策と経済成長に関する勉強会打合せ
- 19日(月) 第1回確率論的安全評価(PSA)に関する国内シンポジウムプログラム委員会開催
- 21日(水) 第1回無停電電源装置信頼性等評価委員会・専門部会開催
- 29日(木) 第5回天然ガス勉強会開催
第2回プルトニウム利用方策開発調査委員会開催

◇ 人事異動

- 4月1日付
(退任)
プロジェクト試験研究部長兼企画部長
山崎宗重(出向解除)
- 6月30日付
(退任)
業務部長 小沢美雄(出向解除)
プロジェクト試験研究部主任研究員
池松正樹(出向解除)
プロジェクト試験研究部主任研究員
金子 稔(出向解除)

◇ 海外出張

- (1) 谷口武俊主任研究員は、「PSA'89確率、信頼性及び安全評価に関する国際トピカルミーティング」での発表、参加の為4月1日～4月15日の間、アメリカに出張した。
- (2) 松井一秋主管研究員は、「リスク管理に関するIAEA ミーティング」参加の為4月15日～4月23日の間、ギリシャに出張した。
- (3) 大原敏昭主管研究員は、ロンドンFBR国際会議出席と欧州原子力施設を訪問して情報収集、意見交換を行う為5月21日～6月3日の間、イギリス、スイス、フランスに出張した。
- (4) 松井一秋主管研究員は、OECD中小型炉専門家会議及び西部経済学会への出席の為、6月14日～6月25日の間、フランス、アメリカに出張した。
- (5) 岸孝雄主任研究員は、ヨーロッパにおける電気自動車の普及、開発等の動向調査の為、6月17日～7月2日の間、フランス、ベルギー、西ドイツ、スイス、イタリア、イギリスに出張した。
- (6) 蓮池宏研究員は、米国の電池会社における二次電池、代替エネルギー自動車の関連動向調査の為、6月25日～7月2日の間、アメリカに出張した。

季報エネルギー総合工学 第12巻第2号

平成元年7月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社