

米国におけるエネルギー回収システムとしての固形廃棄物処理

Solid Waste Disposal Confined in a Energy Recovery System in the United States

熊 野 谿 徒*

Ju KUMANOTANI

昨年 (10 月) につづいて本年 6 月米国出張の機会を得た。滞米中、高分子および塗料における溶剤 (光化学反応性溶剤) およびクロム、カドミウム、鉛および水銀などの重金属を含む顔料、防カビ剤、防錆剤およびその他の添加剤などの毒性、規制、廃棄物処理についてのシンポジウム、国際協力委員会などに出席した。また 2、3 の研究所、工場などを見学し、廃棄物処理の実体を調査した。この報告では米国のエネルギー計画の中にくみこまれた廃棄物処理について簡単に報告したい。その他の事項は一部 Am. Paint J. に紹介された。また近日中に塗装の技術誌に掲載される予定である。

1. 米国におけるエネルギー事情

旅先々のホテルやニューヨークのデパートなどで、電力節約の協力のよびかけの横文字があちこちでみられ、一瞬どこの国の話なのかと戸惑いを感じた。しかし米国民人口が世界の 1/18 で、世界のエネルギーの 1/3 が米国で消費されており、港湾の積荷容量の飽和状態などで需要と供給のバランスがくずれ、当時既にある街のビルでは暖房用の重油に困っているという話をきくと、総てに先取りをしてゆく米国人の気質からは当然のことであることが分った。現在、中東における石油問題に直面し様々な変化が国際的規模でみられている。米国では、増大してゆくエネルギー事情に対応して 2000 年までの予測が行なわれており、少なくとも 1985 年までの計画は国家的な規模で着実に実施されている。National Bureau of Mines (NBM, Pittsburg) を訪問した際副所長より恵与された United States Energy Through the Year 2000 (米国内務省) を資料として、簡単に米国のエネルギー計画の概要を申しのべて参考に供したい。

a. 総エネルギーおよび実効エネルギー (1971~2000 年) の予測を表 1 および図 1 に示した。この表から次のように要約される。

(1) 全エネルギーは $57,053 \times 10^{10}$ Btu (1971) から $140,070 \times 10^{10}$ Btu (2000) 余に増加し、同期間の実効エネルギーの総エネルギーに対する割合は 82.7% から 73.0% に減少する。

(2) 1971 年から 2000 年における転換損失 (電気および合成ガス部門) は $11,936 \times 10^{10}$ Btu から $51,830 \times 10^{10}$ Btu に増加する。この傾向は従来のそれとは異なり、第 2 のエネルギー源の利用が行われる結果全エネ

表 1 全および実効エネルギー (1971(実績)~2000年)
単位は 10^{10} Btu

	1971	1975	1980	1985	2000
全エネルギー	57,053	65,125	76,120	89,700	140,070
消費量	3,957	4,650	5,410	6,350	10,740
非燃料 ¹⁾	5.7	5.8	5.6	5.4	5.6
%	5.7	5.8	5.6	5.4	5.6
3 部門 ²⁾	53,096	60,474	70,710	83,350	129,330
%	77.0	75.3	73.6	71.5	67.4
%	77.0	75.3	73.6	71.5	67.4
エネルギー損失 ³⁾	82.7	81.1	79.2	26.7	73.7
%	82.7	81.1	79.2	26.7	73.7
電気	11,936	15,140	19,730	26,260	49,640
%	17.3	18.9	20.6	22.5	25.9
合成ガス	—	—	170	670	2,190
%	—	—	.2	.6	1.1
全転換損失	11,936	15,140	19,900	36,930	51,830
%	17.3	18.9	20.8	23.1	27.0
全総エネルギー	68,989	80,267	96,020	116,630	191,900

- 1) 住宅および商業に使用されるアスファルトおよび道路用油、工業における化学原料、輸送部門における潤滑油およびグリース
- 2) 住宅および商業、輸送; 電力換算は $3,412 \text{ Btu/kWhr}$, 合成ガスは $1,000 \text{ Btu/ft}$
- 3) 一次エネルギー源より二次エネルギー源への変換に伴う損失

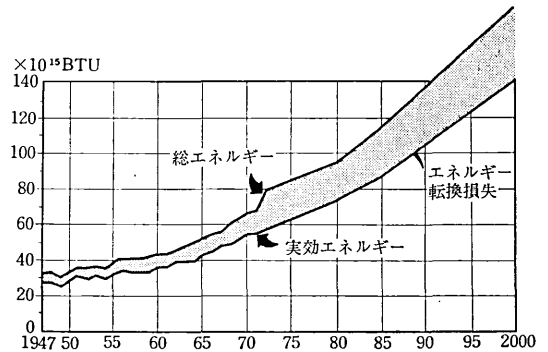


図 1 米国の総エネルギーおよび実効エネルギー量 (1947~2000年) (単位 10^{10} Btu)

ギーに対する損失が 17.3% から 27.0% に増加する。

(3) 全エネルギーの消費量は $68,989 \times 10^{10}$ Btu (1971) から $191,900 \times 10^{10}$ Btu (2000) になる。

個人当りの全エネルギーおよび実効エネルギーは表 2 のように予測されている (図 2)。また GNP (1958 \$) 当りの総エネルギー消費量は 93.0×10^3 Btu (1971) から 78.7×10^3 Btu (2000) に減少する (図 3 参照)。表 3 には部門別の電力消費を示した (図 4)。また表 4 にエネルギー源別のエネルギー事情を示した (図 5)。水力

* 東京大学生産技術研究所 第 4 部

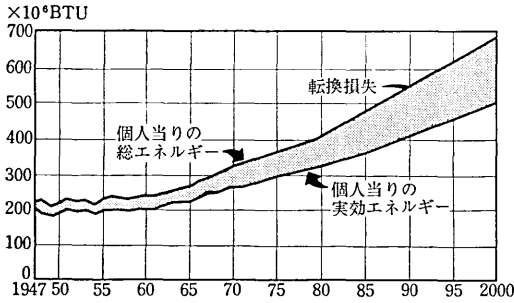


図2 個人当りの実効および総エネルギー(1947~2000年)
(単位 10⁸ Btu)

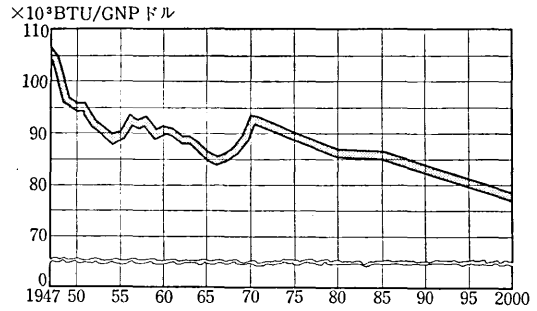


図3 米国の国民総生産(1958\$) 当りの総エネルギー消費
(1947~2000年) (単位 10⁸ Btu)

表2 個人別のエネルギー消費量(×10⁸ Btu)

年	全エネルギー	総エネルギー
1971	274.8	333.3
1975	301.2	371.4
1980	330.8	418.5
1985	369.9	479.2
2000	500.9	686.1

表3 部門別の電力消費(×10¹⁰ Btu)カッコ内はパーセント

	1971	1975	1980	1985	2000
家庭、商業	14,281(20.7)	15,935(19.8)	17,500(18.2)	18,960(16.3)	21,920(11.4)
工業	20,294(29.4)	22,850(28.4)	24,840(25.9)	27,520(23.6)	39,300(20.5)
輸送	16,971(24.6)	19,070(23.7)	22,840(23.8)	27,090(23.2)	42,610(22.2)
発電	17,443(25.3)	22,410(27.9)	29,970(31.2)	40,390(34.6)	80,380(41.9)
合成ガス	—	—	870(0.9)	2,670(2.3)	7,690(4.0)
	68,989	80,265	96,020	116,630	191,900

表4 エネルギー源別によるエネルギーの需給量(×10¹⁰ Btu) カッコ内はパーセント

	1971	1975	1980	1985	2000
石炭	12,560(18.2)	13,825(17.2)	16,140(18.8)	21,470(18.4)	31,360(16.3)
石油	30,492(44.2)	30,492(43.7)	42,190(43.9)	50,700(43.3)	71,380(37.2)
天然ガス	22,734(32.9)	25,220(31.4)	6,720(28.1)	28,390(24.3)	33,980(17.7)
原子力	405(0.6)	2,560(3.2)	3,390(7.0)	11,750(10.1)	49,230(25.6)
水力発電	2,798(4.1)	3,570(4.4)	3,990(4.2)	4,320(0.4)	5,950(3.1)
	68,989	80,265	96,020	116,630	191,900

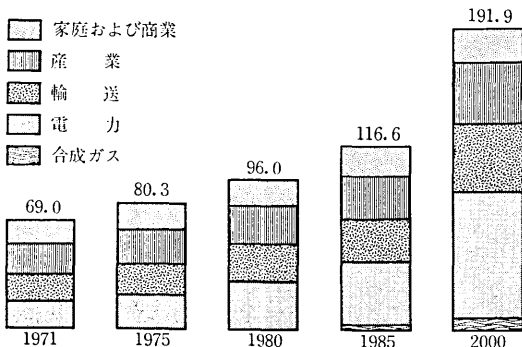


図4 米国のエネルギー消費量(1971~2000年) (単位 10¹⁰ Btu)

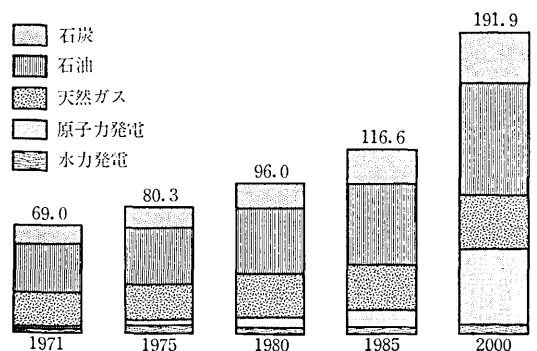


図5 米国のエネルギー源(1971~2000) (年単 10¹⁰ Btu)

発電は、設置場所、環境、経済性などで限界がある。これらの予測は米国原子力委員会により推進されている改良型リアクター (High Temperature Gas Reactor および Liquid Metal Fast Breeder Reactor) の完成を前提にしている。もし、原子力発電による電力が予定通り供給されない場合には化石燃料により供給する。石炭の貯炭量は 500~600 年分といわれ、採掘に伴う環境

破壊および経済についての問題の解決がまたれる。国内産の天然ガスおよび石油のみでは不足し、これらを国外より供給することが必要である。

概要を表5に示した。合成ガスの製造の工業化には猶今後の検討が必要である。なかんずく石炭採掘と含イオウ分の除去に関係のある環境汚染の問題を解決することが必要である。

表 5 ガス燃料の需給量($\times 10^{10}$ Btu)

	1971 ¹⁾	1975	1980	1985	2000
国内供給	21,810	22,640	22,960	22,510	22,850
%	96.0	89.8	82.9	74.0	57.9
合成ガス	—	—	700	2,000	5,500
%	—	—	2.6	6.6	13.9
輸入ガス ²⁾	924	2,580	4,020	5,880	11,130
%	4.0	10.2	14.5	19.3	28.2
総計	22,734	25,220	27,680	30,390	39,480

1) 実績

2) LNG およびカナダからのパイプライン輸送を含む

表 6 石油の需給($\times 10^{10}$ Btu)

	1971	1975	1980	1985	2000
国内よりの供給	22,569	22,130	23,770	23,600	21,200
%	74.0	63.0	56.3	46.6	29.7
国外よりの供給	7,923	12,960	18,420	27,100	50,160
%	26.0	36.9	43.7	53.4	70.3
	30,492	35,090	42,190	50,700	71,380

石油の需供については表 6 に示した。1980 年までに、不足分は国外からの輸入、あるいは国内の新しい資源に依存するかのいずれかである。資源の開発は政策、環境汚染、経済などの問題の発展如何による。1980 年後には、頁岩油、石炭液化、タールサンドなどを原料として製造される油分が供給される見通しであるが、製品のコストが商業ベースにのることがかなめである。

1947~1971 年に亘る 24 年間には年間総エネルギー消費量は年々増加している (図 1, 2 よりみて明らかのように、この間に 3 回減少している)。1947~1971 年間に総エネルギー消費量は 33.0×10^{24} Btu から 69.0×10^{24} Btu に増加し、3.1% の増加率を示した。また実効エネルギー量は 29.2×10^{24} Btu より、 56.9×10^{24} Btu に増加した (年間増加率 2.8%)。各年代におけるエネルギー増加の成長率を表 7 に示した。

表 7 個人当りのエネルギー消費の増加率

年	個人当りの総エネルギー量増加率 (%)	実効エネルギー量増加率 (%)
1950		
1955	3.1	2.9
1960	2.3	2.2
1965	3.6	3.5
1970	4.8	4.3

明らかに増加率の上昇の傾向がみられる。また、(実効エネルギー/総エネルギー) (=一次エネルギーを二次エネルギーに変換する際の効率) は 88.5% (1947) から 82.7% (1971) に低下している。

個人のエネルギー消費量は 229.0×10^6 Btu (1947) から 333.3×10^6 Btu (1971) に増加しその増加率は 1.6%

表 8 エネルギーの成長率

年度	総エネルギー/個人 ($\times 10^6$ Btu)	平均成長率/年 (%)	全エネルギー/個人 ($\times 10^6$ Btu)	平均成長率/年 (%)
1950	223.2		194.8	
1955	239.3	1.4	206.7	1.2
1960	246.8	0.6	211.5	0.5
1965	274.4	2.1	232.1	1.9
1970	329.1	3.7	273.6	3.3

である。その傾向を、表 8 に示した。1960~1965 年間の上昇率は 1.5% で、1965~1970 年の 1.9% に比して低い。また GNP 当りのエネルギー消費量は長期的には低下の傾向にあり $106,400$ Btu/GNP (1947) から $85,700$ Btu (1966) に低下している。しかし 1971 年度には $93,300$ Btu に増加しており、このような傾向は微妙な問題を含んでいる。

b. 予測における仮定

GNP その上昇率は 1980 年までは 4.3%、それ以後は 4.0% として測定した。

人口 人口増加率 1% とした (世界人口の増加率は平均 2% である)

産業生産 1980 年までは、生産の 1 年当りの上昇率は 5%、その後は 4.4% とした。

燃料消費 消費量に基づいて算出した。

価格 ガス燃料価格の上昇率は石油価格の 1.5 倍、石炭の 2 倍である。

技術 石炭のガス化および液化、また SO_2 ガスの抑制は 1985 年までに完成しよう。また、増殖型リアクターについての技術が 1985~2000 年の間に完成しよう。太陽エネルギーの利用は小規模の家庭用に限られよう。核融合エネルギーの開発は未来の問題でここでは述べない。

生活 エネルギー消費については従来と変わらない。

方法論 種々の予測法を適用し、内務省内のエネルギー分野の専門家の個人的判断に基づいてこの報告書を作成した。その中では、総国民生産量、人口、生産指数、他の重要な経済上のデータなどをエネルギー消費と関連づけ総合的に推測した。

また全エネルギー消費は 4 部門のエネルギー消費の合計として算出し、その結果に修正を加えた。ただし電力については州電力委員会 (FPC) の報告を基礎とした。(Federal Power Commission, National Power Survey)

c. 各部門におけるエネルギー消費

石油消費 15.1×10^6 バレル/日 (1971) から 2000 年には 35.6×10^6 バレル/日に増加する。実効消費エネルギーに対する割合は 44.1% から 37.2% に減少する。天然ガスの消費量は $22,050 \times 10^9$ ft³ から $32,959 \times 10^9$ ft³ に増加するが、市場では 33.3% から 17.7% に

減少する。

石炭は $510,800 \times 10^3 \text{ ton}$ から $1,310,000 \times 10^3 \text{ ton}$ に増加し、全エネルギー中に占める割合は 18.2% から 16.2% に減少する。また水力発電は $266.3 \times 10^9 \text{ kWhrs}$ から $700 \times 10^9 \text{ kWhrs}$ に上昇し、実効エネルギーに対する割合は 4.1% から 3.1% に減少する。原子力発電は $37.9 \times 10^9 \text{ kWhrs}$ から $5,470 \times 10^9 \text{ kWhrs}$ に増加し、全エネルギーに対する割合は 0.6% から 25.7% に増加する。

GNP 当りのエネルギーは $93.0 \times 10^3 \text{ Btu}$ (1971) から $78.7 \times 10^3 \text{ Btu}$ (2000) に減少し、1人当りの総エネルギー消費量は $333.3 \times 10^6 \text{ Btu}$ (1971) より $686.1 \times 10^6 \text{ Btu}$ (2000) になり (成長率 2.1%)、実効エネルギーの成長率の低下は第 2 次エネルギー (主として電力) への依存度の増加によると解釈される。

電力 電力の増加率は 6.1% で、全発電量は $1,614 \times 10^9 \text{ kWhrs}$ (1971) より $9,010 \times 10^9 \text{ kWhrs}$ (2000) に増加する。熱量換算では、 $17,443 \times 10^{12}$ から $80,380 \times 10^{12} \text{ Btu}$ 元の増加に対応するが、エネルギー変換効率の 17.5% の上昇により、換算熱量 (Btu/kWhr) は 10,807 から 8,920 に減少する。この減少は一般の化石燃料を用いるプラントの改良、High Temperature Gas Reactor, Liquid Fast Breeder などにより期待できる。もし、この変換率が改良されないと、必要熱量は $97,370 \times 10^{12} \text{ Btu}$ (21.1% 増) になる。また電力供給に必要な燃料については次のように予測されている。石炭の使用量は年々増加し、天然ガスのそれは減少する。また石油の使用量は 1971~1985 年の期間には一度増加しその後減少する。従って産業用の動力は原子力発電に依存するようになる。

合成ガス 石炭および油から作られるガス燃料の寄与は 1971~1975 年では僅少である。しかし 1980 年までには $700 \times 10^9 \text{ ft}^3$ のガスが製造される。その原料には $430 \times 10^{12} \text{ Btu}$ 相当の石炭、 $440 \times 10^{12} \text{ Btu}$ 相当の石油製品が必要である。当面石油の利用による天然ガスの穴うめが必要である。また長期的には天然ガスの補いは石炭のガス化法で行われると予測されている。2000 年までには、 $550 \times 10^{12} \text{ Btu}$ 相当のガスの製造には $7,140 \times 10^{12} \text{ Btu}$ 相当の石炭、 $550 \times 10^{12} \text{ Btu}$ 相当の石油が必要である。合成ガスの製造におけるエネルギー変換効率は石炭、石油に対してそれぞれ 70%, 90% が見込まれている。

家庭および商業 エネルギー消費量の上昇率は 2.9% で、消費量は $17,441 \times 10^{12} \text{ Btu}$ (1971) から $39,630 \times 10^{12} \text{ Btu}$ (2000) に増加する。石油は 37.5% (1971) から 28.1% (2000) に、天然ガスは同時期に 42.2% から 27.2% に減少する。その代り合成ガスの使用量が大きくなり、ガス燃料中で、33.6% を占めるようになる。また

電力依存度が大きくなり 18.1% (1971) から 38.0% (2000) に増加する。

1950~1970 年に亘る個人当りのエネルギー消費量は、2.2% の成長率で、 $50.6 \times 10^6 \text{ Btu}$ から $77.7 \times 10^6 \text{ Btu}$ に増加する。

1970~2000 年間の増加率は 1.9% で、1人当り使用の熱量は $77.7 \times 10^6 \text{ Btu}$ から $136 \times 10^6 \text{ Btu}$ に増加する。しかし成長率は 2.4% (1970~1975 年) から 1.5% (1985~2000 年) に低下する。理由は次の仮定に基づいている (1) 人口増加率が過去 20 年間に比して減少する (2) セントラヒーティング、空調設備などの伸びが飽和の傾向にある。

輸送 成長率は 3.2% で、消費エネルギーは $16,989 \times 10^{12} \text{ Btu}$ (1971) から $42,660 \times 10^{12} \text{ Btu}$ (2000) に増加する。この部門での石油の供給量は 95% (1971) から 93.8% (2000) に減少し、天然ガスは同期間に 4.9% から 6.1% に増加する。電力の寄与は全電力の 0.1% に過ぎない。1985 年までは現在のシステムが用いられるが、1985 年後には新しいシステムの開発が考えられている。環境規制とエネルギー問題について述べる。自動車については、規制はガソリンの利用効率を低下する。この効率の低下に対する対策は自動車工業にとって重要である。自動車用エネルギー需要の成長速度を規正する原因に自動車の成長率の頭打ちと人口増加率の低下などがあげられる。従って環境規制に伴うエネルギー需要の増加の影響は減少する見込みである。交通機関は鉄道、船舶から航空システムに移行すると仮定した。

産業 年間消費エネルギーの増加率は 3.3% で、エネルギー需要は $22,623 \times 10^{12} \text{ Btu}$ (1971) から $57,780 \times 10^{12} \text{ Btu}$ になる。この分野でエネルギー源の分布が著しく変わるものと考えられ、石炭は同期間に 19.7% から 11.6% へ、また石油は 23.8% から 25.5% に、天然ガスは 46.1% から 31.0% に変わり、合成ガス 4.9% が使用され、燃料ガス全量は 35.9% になる。最大の変化は電力の寄与で 10.4% から 27% に増加する。また化石燃料については、1971 年には 3.0% の石炭が非エネルギー源とにされたが 2000 年までには 20.9% に達する見込みである。同期間に石油の非燃料原料として使用される量は 37.6% から 46.7% に増大する。天然ガスの非エネルギー源として使用されている量は 6.6% から 5.0% に減少する。化石燃料の非燃料的用途は、全化石燃料に対して 14.0% から 23.3% に移行する。従ってこの分野では次の理由で、エネルギー消費量増加の傾向はゆるやかになるであろう。(1) エネルギー消費型から非消費型の生産への移行 (2) エネルギー利用効率の増加 (3) 電力依存への移行

石油需給 1971 年には、国内需給が 74.0%、輸入需

給が 26.0% であった。2000 年には、現状がそのまま推移する見込みである（その他については本報告の初めに述べた）。

燃料ガスの需給 96% は国内で需給され、4% は輸入に依存している。2000 年には次のようになろう。

国内需給		輸入ガス	
国内天然ガス	57.9	カナダからのパイプ輸送	19.3
合成ガス	13.9	液化天然ガス	8.9
	71.8%		23.2%

家庭用燃料費が増大すると考えられるので、LNG、合成ガスなどを地方によっては開発することが必要である。石炭からの合成ガスの製造は、石炭の採掘の実現に依存する。

石炭需給 米国の石炭需給の実状と予測は次のようである（単位は百万 ton）。

年度	国内需要	輸出	全量
1971	511	58	569
1975	565	71	636
1980	665	75	740
1985	893	87	980
2000	1,310	108	1,418

埋蔵量は 500~600 年分に相当するといわれている。イオウ分の除去、採掘による自然環境破壊などの問題があるが、1980 年までには解決される見通しである。石炭の価格は 20~30 \$/ton で十分実用性がある。もし実施できなければより高価な石油を使用することが必要である。

私の見聞した範囲でも石炭の液化やガス化 (Synthane Proces) について着実に米国内で中間プラントによる試験が行なわれ、連続試運転の段階にあった。1980 年からは完全に商業ベースになるということであった。

2. 米国における固体廃棄物の処理

廃棄物処理についての米国の基本的な考え方は 1970 年に公布された固体廃棄物回収施行令 (Solid Waste Recovery Act) にみられる。その要点を次に示した。

(1) 固体廃棄物の処理に際しては資源の回収と同時に大気、水、土地、資源などの汚染と保護を前提にする

(2) 固体廃棄物処理、資源の回収の計画の実施に対して政府および州当局を技術的および財政的援助を行う。

(3) 固体廃棄物の収集、分離、回収、リサイクルシステム、回収再利用不可能の物質を環境汚染を伴わないで処理する方法を研究する。

(4) 固体廃棄物の集、輸送、分離、回収、処理のためのガイドラインを周知する。

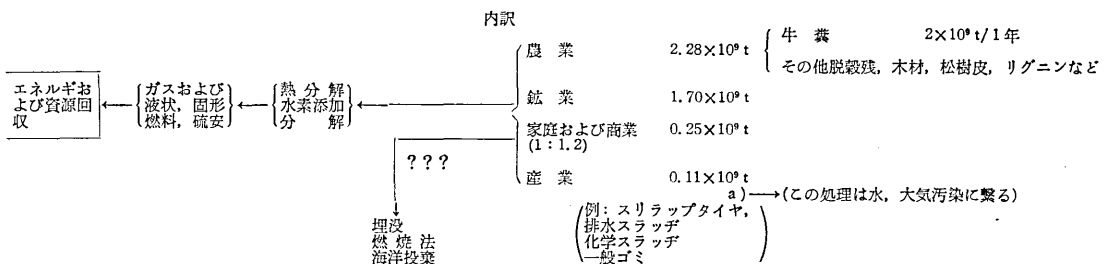
(5) 固体廃棄物の処理システムの企画、作業、維持要点は廃棄物を資源またはエネルギーとして回収し、同時に大気、水、土地、大洋などの汚染を防止することが骨子である。現在この主旨に基づき、政府、民間会社そして多くの大学など国をあげて、資源、エネルギー危機に対処した研究を行っているといっても過言ではない。その 1 例を表 9 に示した。

廃棄物処理には大別して埋没法、海洋投棄、焼却、循環して使用するシステムなどがある。埋没法は一見簡単で最も経済的にみえるが、土地および地下水の汚染、悪臭、疫病の伝染などの危険を伴いやすい。家庭ゴミなどの一般的なゴミは別として、化学薬品の廃棄物の埋没法には問題がある。埋没されているゴミの 85% は現在ゴミ捨て場で処理されている。また産業固形廃棄物は 82×10^6 t/年に達している。現在連邦環境保全庁の固形廃棄物管理局は全国の約 5,000 のゴミ捨て場の閉鎖を急いでいる。埋没法は特定地域に限定し、特定物質に制限することが重要である。産業固形廃棄物の中で化学薬品については環境保全庁 (EPA)、化学物質製造協会 (MCA)、国立固形廃棄物管理協会 (NSWA) の協力により、ガイドライン法について検討されている。その要点は次のようである。

1. 化学薬品の埋没で環境汚染を生じないこと
2. 場所の選択の際次の点を考慮する。河川の有無、地下水位、土地使用の有無、土質、浄化能力、雨量
3. 廃棄物の崩壊性、浄化性、毒性、放射能、臭気、

表 9 固形廃棄物処理の 1 例

米国の固形廃棄物 (1969 年)……統計 4.3×10^9 t/年



a) Wolfson, D.E., Beckman, J.A., Walters, J.G., Brennett, D.J. Destructive distillation of scrap tires
 b) U.S. Bureau of Mines, Reports of Investigation, 7302, Sept., 1969

引火性 (ブルトザーなどの使用の際、衝撃により発火、爆発することがある)、反応性などを考慮する。

4. 処理前処理装置を設けゴミの処理 (ゴミは地表に薄く広く拡げ、覆土し、圧縮する。連日覆土を行なって圧縮する)。

ガイドラインシステムの完成までは有機液体の埋没処理は行わない。

燃焼法は、水質汚染を解決する方法であっても、一般的に大気汚染を伴ないかつ熱エネルギーの利用の例が少なく従ってエネルギーの損失を伴うことが多い。(この点ではわが国の焼却法は種々の観点より検討を要する) また燃焼法は汚染防止を完全に行うシステムとしては非経済的と考えられている。従って産業界ではケーススタディの実例、研究例はあるが、一般には対処療法の一つにすぎないと考えられている。

表 9 に示したように固形廃棄物の中では農業関係の廃棄物が最も多い。その中でも特に牛糞の占める量が多い。米国では、1箇所で 10~20 万頭の牛を効率的に飼育し (日本の養鶏場を想いだした)、排出される糞よりイオウ分の少ない燃料を熱分解法または水素添加分解法で製造する方法が検討され火力発電用燃料の約 30% を補う計画が検討されている (図 6)。熱分解法、水添分解法のいずれを選択するかは各地方の実状に依存する。水

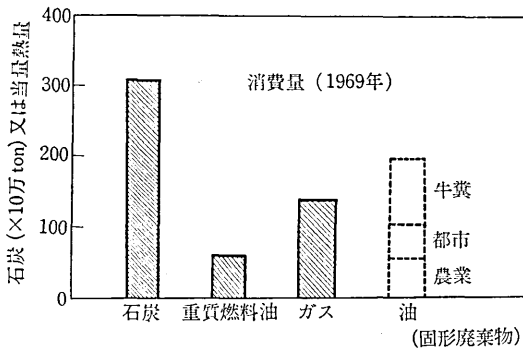


図 6 発電用燃料

添分解法は炭素含有量の多い廃棄物に水素を反応させて炭化水素をつくるという考え方である。この技術はセルロースを水と一酸化炭素、アルカリ (触媒) の系で、15,000 psig の加圧下に 350°C で処理して油状物を得た発見に基づいている。水素のみを用いる方法は経済的でない。反応の主役は一酸化炭素で、

アルカリ
 $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$ の反応で生じる水素が反応にあたり炭化水素を生成すると考えられており、原料、設備などいづれも経済的で実用化の点で興味ある方法である。この方法は炭素元素を主成分としている多くの物質 (木材、藁、ボール紙、紙などのセルロースよりなる) に適用できる。50% の回収率で 16.240 Btu/Lb の熱量の

表 10 牛糞処理の温度の影響
 試料 40 g^a, 水 160 g, 600 psi CO 圧

温度 °C	圧力 psi	転化率 %	油分の収率 %	ガス相の CO の消費重量増加量 g/g 糞
300	2,440	79	14	20
350	3,650	95	30	25
380	4,780	99	38	35
400 ^b	5,300	99	38	37

a. 表 2 をみよ b. 反応時間 30 分

表 11 牛糞と油状物の分析 (%)

	牛 糞 ^a		油 分			
	原 料 ^b	mat 基準	400°C	380°C	350°C	300°C
C	41.2	52.0	79.8	80.4	79.5	77.4
H	5.7	6.7	9.1	9.4	9.5	9.8
N	2.3	2.9	2.7	3.0	3.1	2.9
S	0.3	0.3	0.20	0.26	0.24	0.27
O*	33.3	38.1	8.2	7.1	7.7	9.6
灰分	17.2	—	—	—	—	—
H/C 比	—	1.55	1.37	1.40	1.43	1.52

* 他元素の和から差として求める a). Kansas City, Missouri b). 3.6% 含水

燃料油が得られる (表 10 および表 11)。

熱分解 (500~900°C) の 1 例を次に示した (原料は 1 噸)。分解でえられる主成物の残渣は炭素状物質で重量は原料に対して、それぞれ、90%, 20% 減になり、その熱量は 10~17 x 10⁶ Btu/t である。また生成ガスの 53%

	燃料ガス (ft ³)	軽油 (ガロン)	液状物** (ガロン)	タール (ガロン)	硫 安 (ポンド)	固形残渣 (ポンド)
一般都市ゴミ	7,380~18,058	1~4	97~133	0.5~6	16~32	154~424
都市* ゴミ	9,270~14,065	1.5~3	68~75		12~23	618~838

* プラスチックを主成分とする ** 94~100% は水分、他は有機酸、アルデヒド、ケトンなど

はエチレンで、このガスの熱量はゴミの熱分解に用いるのに十分である。また水素は 25~50% 含まれ、水素あるいはメタン製造の原料に使用できる。軽油の主成分はベンゼン、トルエンで、タールの熱含量は 736,000 Btu/ton ゴミである。熱量に基づく計算の上では実用性があり、連続運転の計画がすすめられている。

エネルギー事情のところで述べたが、天然ガスの不足を補うために、炭素元素を主成分とする物質の環元によるメタンの合成が技術上では同一の基盤に立つ石炭のガス化のそれとともに行なわれている。詳細は原報 (H. F. Feldmann, 60 th Naional Meeting, Cincinnati, Ohio, May, 16, 1971) を参照されたい。

終りに、滞米中調査に当って種々ご配慮を頂いた次の方々に厚くお礼を申し上げたい。Fu 博士 (National Bureau of Mines, Pittsburg), Wicks 博士 (North Dakota 州立大学, Fargo), Beckwith 博士 (Inmont 会社副社長, Detroit) (1973 年 12 月 11 日受理)