

地球環境特集 特集記事5

材料リサイクルの現状と今後の課題
—家電製品を例として—

和田安彦 関西大学工学部土木工学科 教授
Yasuhiko Wada

Present Status of the Material Recycling and Its Problems — A Case of Electric Home Appliances

1 はじめに

平成7年6月の容器包装リサイクル法の可決・成立に続いて11月には家電製品、自動車についても平成12年度をめどに製造・販売業者等に製品の回収、再利用の義務づけを目指す方針が示され、わが国でも本格的なりサイクル時代を迎えるに至った。しかし、これまでの生産→使用→廃棄の一方のシステムに都合よく整備されてきた社会システムを循環型に変更していくことは容易なことではない。また、リサイクルを行う場合の経済性をいかに確保するかといった大きな問題もある。さらに、地球環境問題に対応していくためには単に回収、再資源化を図るという問題ばかりでなく、できるだけ環境負荷の少ないリサイクルを目指す必要がある。

このような環境負荷を低減化しつつリサイクルを促進するという困難な目標に対応するためには、これまでとは違った観点に基づく材料開発や材料選択、製品設計、社会システムの整備が求められている。

ここでは家電製品を対象として材料リサイクルの現状について述べるとともに、環境負荷低減化を目指したりサイクルを実施するための今後の課題を明らかにしたい。

2 廃家電品処理の問題点とリサイクル状況

2.1 廃家電品処理の問題点¹⁾

主な家電製品であるカラーテレビ、電気冷蔵庫、電気洗濯機、ルームエアコンの4品目の廃棄台数は表1の通りであり、平成4年では約1,453万台の廃家電品が排出されたと推定されている。

表1 主要家電製品4品目の廃棄台数¹⁾

	家電製品廃棄台数（推定）（万台）				
	昭和63年	平成元年	平成2年	平成3年	平成4年
カラーテレビ	495	501	509	521	538
電気冷蔵庫	332	336	339	342	345
電気洗濯機	358	360	362	366	370
ルームエアコン	171	179	185	192	201
4品目計	1,357	1,375	1,395	1,421	1,453

廃家電品は図1に示すように、約18%が自治体によって回収され、約82%が販売店によって回収されている。これらのうち、販売店からの持ち込みを含めて約34%が自治体で処理され、約66%が処理業者で処理されている。

また、シュレッダーダストは、その約93%が安定型処分場で埋立され、約8%が管理型で埋立処分されている。

廃家電のうちリサイクルされているのは約20万t／年（廃家電総重量の約32%）であり、そのほとんどがくず鉄である。原型・圧縮埋め立ては約25万t／年（同40%）、シュレッダーダストとして埋め立て処分されているのは約17万t／年（同28%）である。

廃家電品処理ルートは図2の通りであり、地方自治体、販売店で回収される以外に、回収業者から金属問屋を経てシュレッダー業者に流れるルートがある。

わが国では近年、廃棄物量の増大に伴うごみ処理能力及び最終処分場容量の限界、複雑・多様な構造を持つリサイクル困難な製品の増大、地球規模の環境問題（オゾン層保護、地球温暖化の防止等）の顕在化等の諸問題に直面し、その対応に迫られている。これらに対して家電各メーカーでも積極的な対応が図られているが、廃家電処理の問題点を列記すると、

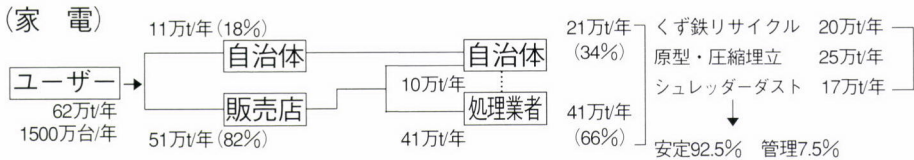
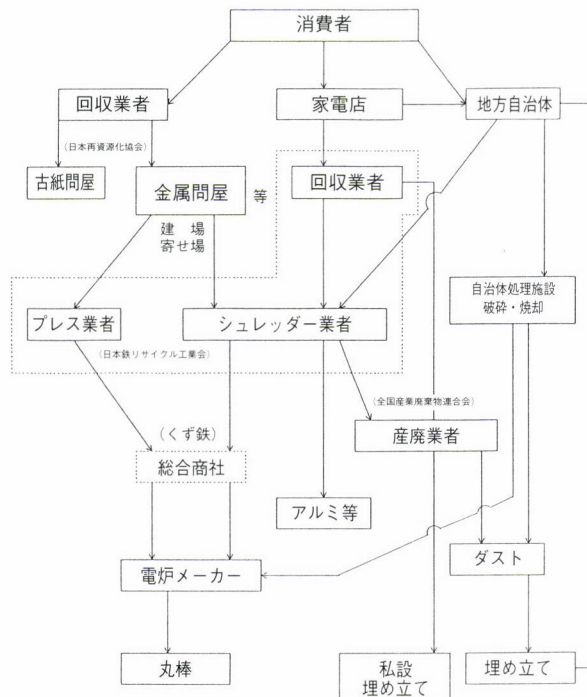


図1 廃家電品の処理フロー¹⁾

図2 廃家電品処理ルート¹⁾

- ①くず鉄以外でリサイクルされている材料が極めて少なく、これが資源の有効利用、最終処分場の確保の困難性の両面での問題となっていること。
 - ②シュレッダーダストについて、平成2年の香川県豊島での違法投棄に端を発するシュレッダーダストの溶出試験で有害物質が検出されたことから、平成7年4月1日から基本的にはシュレッダーダストの管理型最終処分場への埋立処分が義務づけられた。このことから処理コストが高騰しているとともに、管理型最終処分場の残余年数が極めて少ないこと。
 - ③25型以上のテレビ、250リットル以上の冷蔵庫が、平成3年10月の廃棄物処理法の改正に伴う指定一般廃棄物に指定され、市町村でその適正な処理が困難な場合に、事業者に必要な協力が求められることになった。このことから、家電各メーカー、あるいは業界で適正な処理方法の検討、処理施設の整備等を行う必要があること。
 - ④特定フロン（特定物質）への規制に対応して、廃家電からのフロンの回収、安全な分解技術の確立が求められていること。
- などのことがあげられる。

2.2 廃家電品のリサイクル状況

廃家電品の材料リサイクルについては、シュレッダー後に磁選機でくず鉄が回収される以外に、一部のアルミが渦電流等の機械選別を経て有価金属として回収されている。

モーター、コンプレッサー等の金属複合材の部品は、そのまま部品として回収されることが多い。これらの中から

有価金属を回収するための技術（低温破碎による破碎剥離や非鉄金属精錬所による回収等）を可能とするにはコスト高、社会システムの未整備等の問題があり、実現されていない。

また、下取りした廃家電製品を自治体のリサイクルセンター等を通して再利用を図る取り組みがはじめられているが、現状ではまだ少ない。

中古部品、中古製品については、鉄くず価格の低迷、シュレッダーダストの処分コストの上昇等を背景に海外（主として中国、東南アジア向け）に輸出しているケースもあるが、実態は明らかでない。

3 廃家電品リサイクルの環境負荷低減化対策

これまでに述べたように、廃家電品材料のうち、リサイクルされているのは鉄と一部のアルミ（一部の銅が再資源化されていることもある）である。

わが国のようにリサイクルするための社会システムが十分に整備されておらず、再生処理技術も未成熟、また交通事情も悪い現状で、地球環境問題に対応しつつリサイクルを促進するためには、リサイクルによる環境負荷低減化効果の有無を明確にすること、及び今後リサイクルに伴う環境負荷を低減化していくための目標を具体化することが重要な課題である。

資源採取から原材料製造、製品製造、使用、リサイクル、処理処分、及びそれら各プロセス間の輸送といった製品の「ゆりかご」から「墓場」までの全ライフサイクルにわたって環境に与える影響を収支計算し、評価する手法にはLCA（Life Cycle Assessment）がある。

この手法を適用して、ある廃家電品を廃棄物として処理処分する場合と、リサイクルする場合の環境負荷を比較すれば、廃家電品のリサイクルによる環境負荷低減化効果を定量化し、リサイクル工程での環境負荷の高いプロセスを特定することができる。

以下にLCA手法を適用して廃冷蔵庫についてこのような定量化を試みたケーススタディを示す²⁾。

3.1 前提条件

(1) 評価対象製品

対象製品は400リットルクラス、4扉、トップフリーザー型冷凍冷蔵庫である。

このクラスの冷蔵庫の家電メーカー各社の材料構成の平均値をもとめ、これを再資源化が可能な材料と廃棄される材料に分けて表2に示す。なお、再資源化可能な材料でも中間処理（シュレッダーによる破碎）を受けたすべての材料が回収できるわけではなく、微細な破片となったものや

表2 対象冷蔵庫（本体）の材料構成

材 料		材料別重量 (kg)	回収率 (%)	回収重量 (kg)	廃棄重量 (kg)
再資源化可能材料	鉄鋼	39.44	97.4	38.41	1.03
	銅	3.00	36.4	1.09	1.91
	アルミ	1.12	36.4	0.41	0.71
	小 計	43.56		39.91	3.65
廃棄材料	金属類	0.01	0.0	0.00	0.01
	熱可塑性樹脂	28.07	0.0	0.00	28.07
	熱硬化性樹脂	8.27	0.0	0.00	8.27
	冷媒（代替フロン）	0.17	0.0	0.00	0.17
	発泡剤（代替フロン）	0.74	0.0	0.00	0.74
	冷凍機油	0.29	0.0	0.00	0.29
	紙	0.06	0.0	0.00	0.06
	その他	2.86	0.0	0.00	2.86
	小 計	40.47		0.00	40.47
	計	84.03		39.91	44.12

なお、再資源化可能材料のうち銅は海外で再資源化が実施されているとみられており、そのフローが不明確であるため、本試算では銅の再資源化による環境負荷は除外している。

- <リサイクルする場合>
廃棄→中間処理→再生→再生材料（CASEⅠ）
- <廃棄物として処理・処分する場合>
廃棄→中間処理→最終処分 資源採掘→製造→完成材料（CASEⅡ）

図3 各CASEの評価範囲

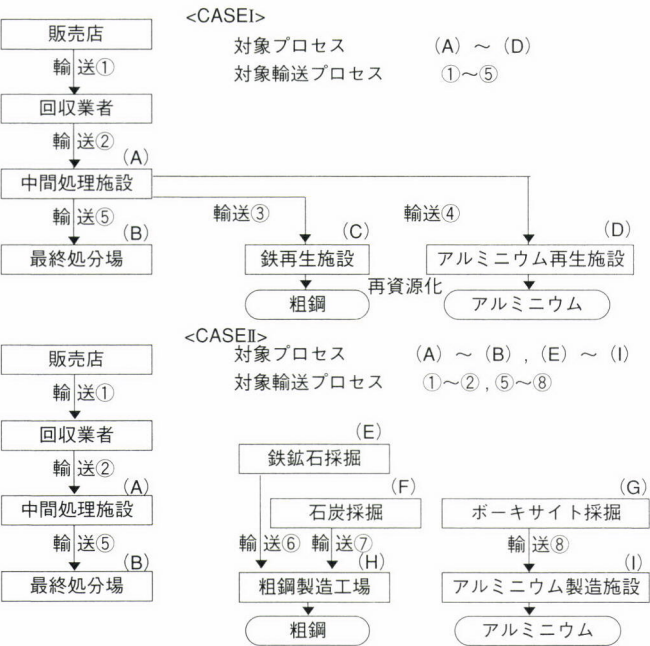


図4 各CASEのフロー

プラスチック等と複合しているために回収できないロスがある。これについては、ここでは破碎処理実験結果からもとめた回収率から、実際に回収できる重量とロス分（廃棄重量）をもとめた。

(2)リサイクル効果定量化の考え方

ここでは廃冷蔵庫1台を中間処理後リサイクルする場合（CASEⅠ）と最終処分する場合(CASEⅡ)の環境負荷を比

較する。リサイクルする場合に再資源化する材料は鉄とアルミとする。

ここで、CASEⅠ、CASEⅡとも製品製造から廃棄（消費者が捨てるまで）の環境負荷は同等であるため、この間のプロセスの環境負荷の比較は省略し、販売店に回収されてから以降のプロセスを比較する。

なお、この場合、再資源化を二次材料の製造工程と考えると、廃棄物として処理処分された場合には同量の材料を得るためには新たな資源から製造しなければならない（再生材料と新たな資源からの材料は等価とし、質の差はないと考える）。このため、廃棄物として処理処分する場合には新たな資源からの製造プロセスを追加し、CASEⅠとCASEⅡの評価範囲を図3のように設定して環境負荷の差をもとめる。

CASEⅠとCASEⅡのフローは図4に示すとおりであり、中間処理（他の製品との混合破碎）に関する環境負荷原単位、各プロセス間の輸送距離及び輸送にかかわる原単位は、（財）家電製品協会が主体となって東京都内で行われている廃家電回収支援システムの実態調査によって得られたデータを用いた。

また、最終処分に関するデータは、ある大都市における最終処分に関わるデータをヒヤリング調査により収集して用いた。

(3) 評価項目

評価項目は表3に示した各項目である。

表3 環境負荷評価項目

材料資源消費量	原料炭、鉄鉱石、ボーキサイト、石灰石、水 等
エネルギー消費量	電力、軽油、重油、石炭 等
エネルギー消費量	
CO ₂ 排出量	
大気汚染物質排出量	SO _x 、NO _x 、SO ₂ 、CO 等
水質汚濁物質排出量	BOD、COD、SS
固形廃棄物排出量	汚泥、ダスト 等

※エネルギー資源消費量は、エネルギー源として消費した資源量を示すものであり、エネルギー消費量は消費したエネルギーを熱量換算したものを示す。

3.2 評価結果

(1) リサイクル効果

CASEⅠ、CASEⅡの評価範囲の全フローにおける環境負荷、及び「リサイクル効果」を定量化した結果は表4に示したとおりである。ここで「リサイクル効果」は（CASEⅠ）－（CASEⅡ）の結果であり、7項目以外ですべて（－）となっている。これは、CASEⅡ（廃棄物として処理処分＋バージン資源からの製造）の方が相対的に環境負荷が高く、リサイクルした方が環境負荷が少ないことを示している。

また、エネルギー消費量、CO₂排出量の項目について

表4 再資源化による環境負荷低減化の効果

	単位	CASE I	CASE II	リサイクル効果
原料炭	kg/台	1.9E+00	2.6E+01	-2.4E+01
粉鉱石	kg/台		4.6E+01	-4.6E+01
鉄鉱石	kg/台		9.4E+00	-9.4E+00
鉄くず	kg/台	3.8E+01	2.1E+00	3.6E+01
ボーキサイト	kg/台		1.7E+00	-1.7E+00
石灰石	kg/台		3.1E-02	-3.1E-02
苛性ソーダ	kg/台		1.5E-01	-1.5E-01
陽極カーボン	kg/台		1.5E-01	-1.5E-01
陽極ビッチ	kg/台		4.0E-02	-4.0E-02
フッ化アルミ	kg/台		6.5E-03	-6.5E-03
水晶石	kg/台		2.4E-02	-2.4E-02
水	kg/台		2.9E+00	-2.9E+00
エネルギー消費量	kcal/台	5.3E+04	1.8E+05	-1.3E+05
電力	kwh/台	1.8E+01	7.5E+00	1.1E+01
軽油	kg/台	6.3E-01	9.6E-01	-3.3E-01
コークス	kg/台	7.3E-02		7.3E-02
コークス炉ガス	Nm ³ /台	2.6E-02		2.6E-02
蒸気	kg/台	9.9E-01		9.9E-01
A重油	kg/台	2.7E-02	1.4E-01	-1.1E-01
C重油	kg/台		4.0E-01	-4.0E-01
液化石油ガス	kg/kg	3.6E-03		-3.6E-03
ガソリン	kg/kg		2.2E-04	-2.2E-04
灯油	kg/kg		4.0E-02	-4.0E-02
液化水素油	kg/kg		6.1E-02	-6.1E-02
液化水素ガス	kg/kg		3.6E-03	-3.6E-03
石油コークス	kg/kg		5.8E-02	-5.8E-02
石炭	kg/kg		2.1E-02	-2.1E-02
天然ガス	m ³ /台		7.2E-03	-7.2E-03
その他	kcal/台	1.6E+03		1.6E+03
FeCl ₂	kg/台	5.8E-03	1.1E-02	-5.2E-03
高分子	kg/台	1.2E-04	2.2E-04	-1.0E-04
メタノール (50%)	kg/台	3.8E-03	7.1E-03	-3.3E-03
活性炭	kg/台	7.1E-03	1.3E-02	-5.9E-03
CO ₂	kg-C/台	3.6E+00	1.6E+01	-1.3E+01
NO _x	kg/台	4.9E-03	5.8E-02	-5.3E-02
SO _x	kg/台	1.9E-03	9.7E-02	-9.5E-02
SO ₂	kg/台	1.1E-04	1.5E-04	-4.3E-05
N ₂ O	kg/台	5.3E-05	7.5E-05	-2.2E-05
CO	kg/台	5.3E-05	7.4E-05	-2.1E-05
C ₂ H ₄	kg/台	3.5E-05	4.9E-05	-1.4E-05
Particle	kg/台	1.7E-06	2.4E-06	-7.4E-07
BOD	kg/台	1.2E-03	2.3E-03	-1.1E-03
COD	kg/台	3.0E-03	5.7E-03	-2.7E-03
SS	kg/台	2.7E-03	5.0E-03	-2.3E-03
集塵ダスト	kg/台	7.7E-05	7.7E-05	
ダスト	kg/台	4.4E+01	8.4E+01	-4.0E+01
汚泥	kg/台	7.1E-02	1.3E-01	-5.9E-02

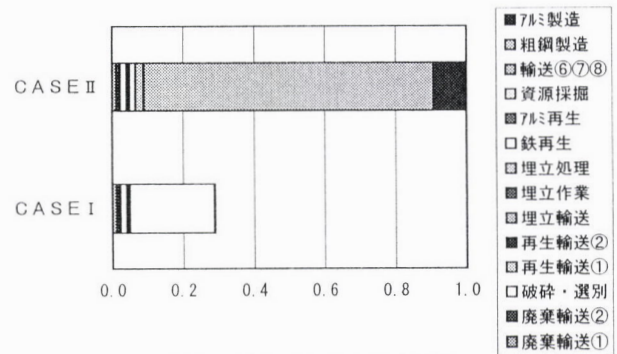


図5 エネルギー消費相対比較

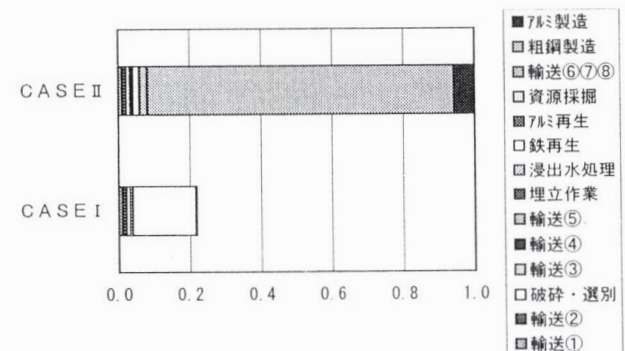
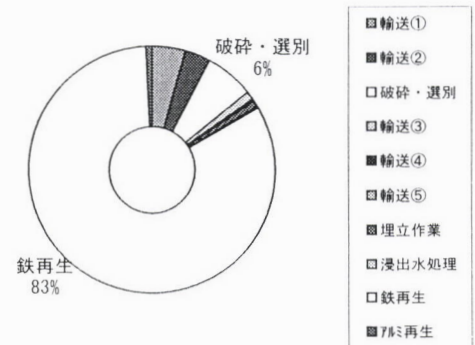
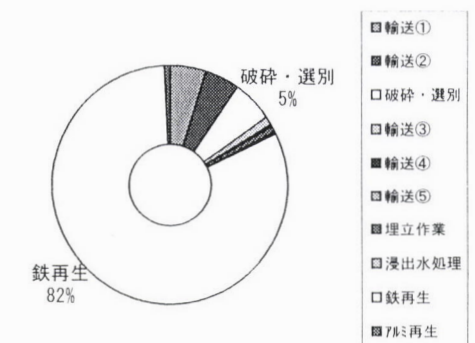
図6 CO₂排出相対比較

図7 リサイクルする場合の工程別エネルギー消費量

図8 リサイクルする場合の工程別CO₂排出量

CASE I、CASE IIを相対的に比較した結果は図5、6のとおりである。これによると、エネルギー消費量ではCASE IはCASE IIの約1/3程度であり、CO₂排出量では1/5程度である。

(2) リサイクルする場合の環境負荷の高いプロセス

エネルギー消費量、CO₂排出量の項目についてCASE I (リサイクルする場合) の工程別環境負荷の割合を示したものが図7、8である。これによると、エネルギー消費量、CO₂排出量とも、約8割が鉄再生工程で占められており、破碎・選別工程は5～6%にすぎない。

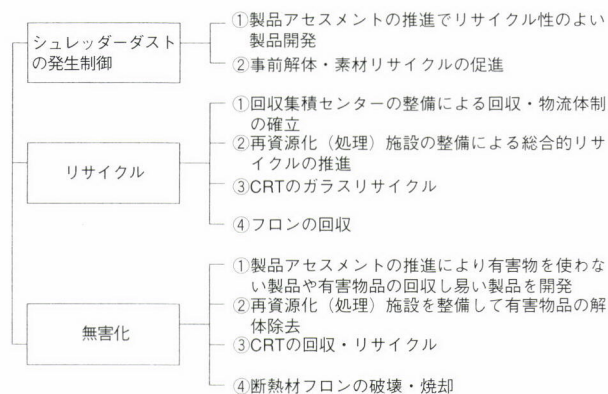
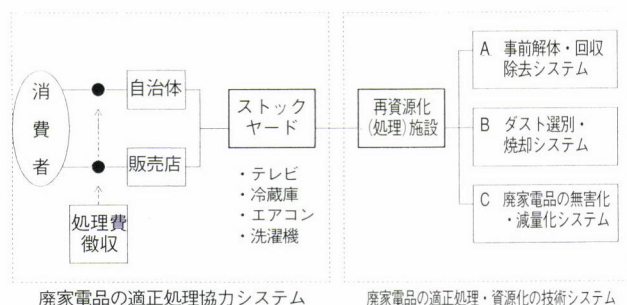
(3) 考察

本ケーススタディでは、リサイクルした方が、廃棄物として処理処分 (リサイクルで得られるのと同量の材料を新たな資源から製造するプロセスを含む) するより環境負荷がほとんどの項目で少ないという結果が得られた。

同時に、リサイクルする場合に最も環境負荷の高いプロセスは「鉄再生工程」であり、今後リサイクルを促進しな

がら環境負荷を低減化していくためには、このプロセスの環境負荷を低減化しなければならないということになる。

これらは一つのケーススタディとしての結果であり、またLCAも発展途上の手法であることから、ここで得られた結論を一般化することはできない。しかし、今後このようなケーススタディを積み上げることによって、次のような

図9 廃家電品の適正処理・資源化に向けた施策体系¹⁾図10 廃家電品のリサイクルシステム¹⁾

課題に取り組む必要がある。

- ①リサイクルの環境負荷の高いプロセスをより詳細に明らかにし、リサイクルの環境負荷を低減化するための目標を具体化すること。
- ②特定された環境負荷の高いプロセスにおける環境負荷低減化技術を開発すること。
- ③環境負荷の少ないリサイクルを行うために、製品及び材料設計に求められる要素を明らかにすること。
- ④環境負荷低減化のための各プロセスごとの対策を組み合わせ

わせた全ライフサイクルにおける環境負荷を定量化、比較検討し、最も環境負荷低減化効果の大きいリサイクルシステムを選択する。

4 リサイクルの促進に向けて

（財）家電製品協会では将来の家電品の適正処理・資源化システムを検討するに当たり、①シュレッダーダストの発生抑制、②リサイクル、③無害化を柱に図9に示す施策体系を示している。また、減量化、再資源化、処理の容易化という原則にたち、21世紀の循環型社会の形成と廃家電品のあるべき処理システムを考慮したリサイクルシステムを図10のように示している。

リサイクルについては、現状でリサイクルされている材料が少ないのはリサイクルのしやすさを製品開発段階から考慮した製品が少ないことにも原因が求められ、今後、製品アセスメントによる材料の選択、製品設計がより重要性を増すことになる。

当面の間は現状のリサイクル、処理処分プロセスといった下流での問題点、及びリサイクルシステムでの環境負荷の低減化に対応しながら、最も上流である材料分野において、リサイクルのしやすさの要請に応えた開発を推進することが求められている。

引用文献

- 1) 家電リサイクルプラントの基礎調査報告書、（財）家電製品協会、1995.3
- 2) エネルギー使用合理化手法国際調査、新エネルギー・産業技術総合開発機構・（社）産業環境管理協会、1995.3
（1995年12月14日受付）