

電機産業におけるライフサイクル CO₂算出手法の確立及び 評価事例の公開と普及活動

一般社団法人日本電機工業会
環境部 環境技術専門委員会 LCA-WG
技術部 重電・産業システム機器LCA検討WG

2014年1月23日(木)*

一般社団法人 日本電機工業会
環境部 齋藤 潔

本資料の無断転載を禁止します

*2014年発表時点から、一部、内容を更新

1. 取り組みの経緯と歴史

- 1) JEMAにおける取り組み-その狙い**
- 2) 業界共通のLCA評価手法(LCI分析手法)確立**
- 3) 取り組みの歴史-LCA手法確立に向けて**

1)JEMAにおける取り組み-その狙い



業界共通のLCA評価手法(LCI分析手法)確立

- 業界共通ルールとして活用可能な環境負荷評価手法「ライフサイクルCO₂排出量算出手法」の確立をめざし、家電製品と重電製品の各々の分野において工業会規格(JEM)としてガイドラインを発行するなどの取り組みを推進。
- 工業会規格として発行することで、国際標準規格やJIS規格などとの関連や整合も考慮し、業界内ルールとしての活用だけでなく、一般にも公開且つ活用できるものとして、透明性の向上や信頼性を確保。

評価事例の公開と環境配慮製品の普及活動推進

- 国際会議や学会などでの研究発表、学会誌への研究資料の投稿及び様々なセミナーなどを通じて、業界の取り組みの紹介や製品の評価事例を公開。環境配慮製品の普及に向けて、製品性能の進歩やエネルギー消費効率の改善などによる環境負荷の変化(環境負荷の低減)も定量的に算出し、一般消費者にも容易に理解できるような情報提供の実施(WEBサイト他)、啓発活動を推進。
- 製品の環境配慮情報を業界としても公的に説明(例えば、製品買い替え時における環境負荷の関係を説明)できる体制を整備し、市場での環境配慮製品の認知度向上及び普及促進の一助となることをめざす。

2)業界共通のLCA評価手法(LCI分析手法)確立



家電製品分野

JEM-TR253「家電製品のライフサイクルCO₂排出量算出ガイドライン」
(2014年3月制定)

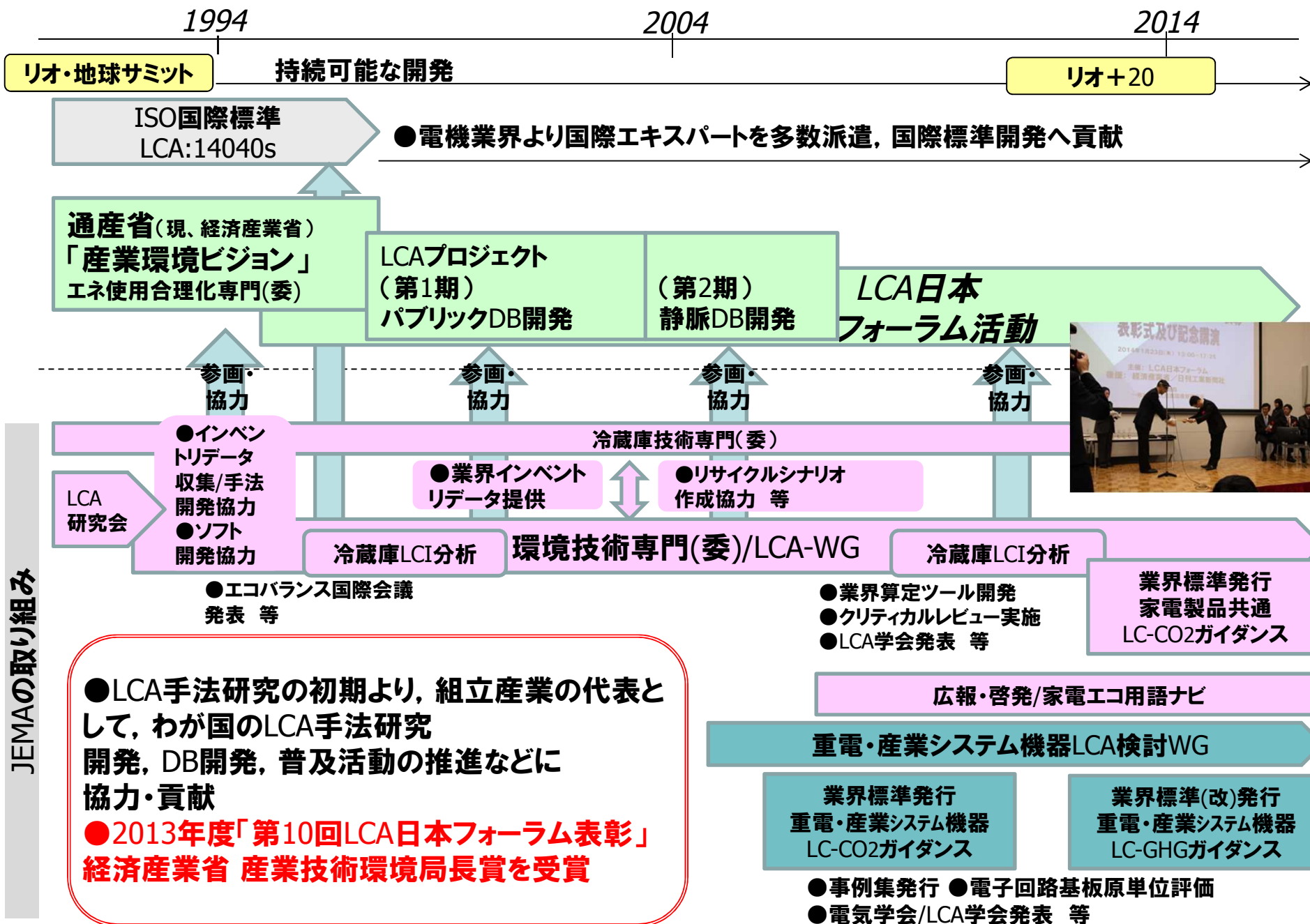
- **積み上げによる評価**とし、ライフサイクル各段階のシナリオ設定・算定方法を開発
→ **冷蔵庫の分析に関する第三者評価[クリティカルレビュー]実施結果も反映**
- 家電リサイクル法や小型家電リサイクル法を踏まえ、回収・リサイクル段階のシナリオや再資源化による環境負荷低減の評価など、資源循環利用の取り組みも考慮

重電・産業システム機器分野

JEM-TR243「重電及び産業システム機器ライフサイクルCO₂排出量評価ガイドライン」(2008年3月制定、2014年3月改正)

- **産業連関表を活用した評価**とし、製造段階を中心とした環境負荷を評価
- 2014年改正:評価対象をGHG(SF₆), 機器の評価事例を記載(附属書)
- 実装部品が搭載された形で調達する電子回路基板について、質量情報などから環境負荷を推計する手法も研究
→ **重電・産業システム機器に活用される電子回路基板標準原単位を作成**

3)取り組みの歴史-LCA手法確立に向けて



2. 家電製品, 重電・産業システム機器 分野のライフサイクルCO₂分析

- 1) 家電製品(電気冷蔵庫)のLCI評価**
- 2) 重電・産業システム機器のLCI評価**

1)家電製品(電気冷蔵庫)のLCI評価

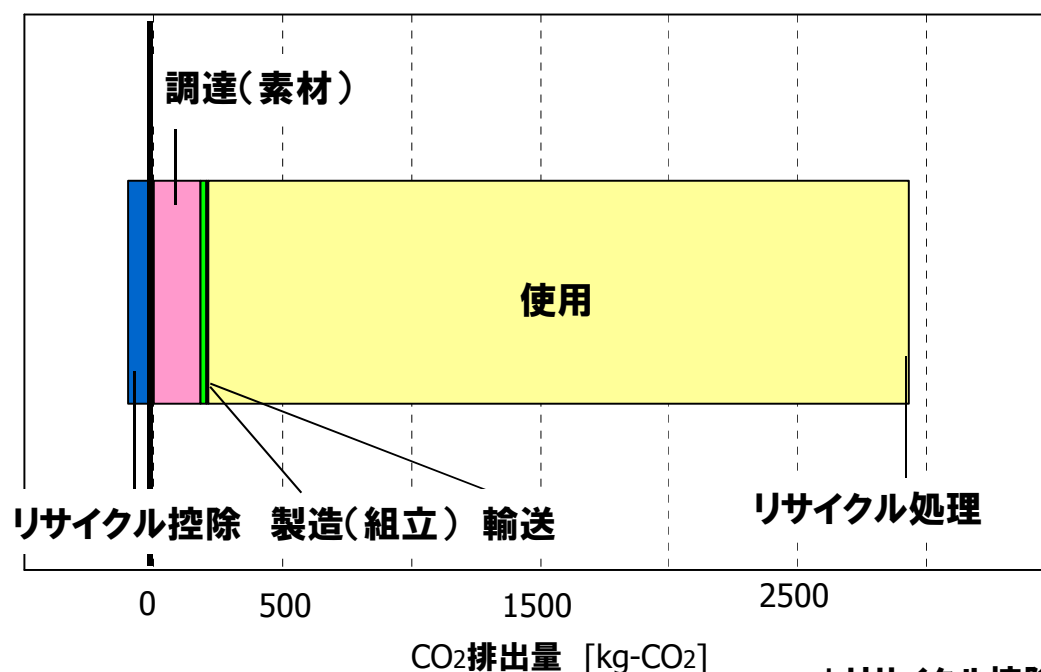
1994年、第1期LCAプロジェクトへの対応として、当工業会内に「LCA-WG」を発足。
電気冷蔵庫を対象として以下の活動を実施し、1999年に報告書としてとりまとめ。

- 電気冷蔵庫をモデルケースとしたインベントリデータ収集方法とその手順を確立
 - ①システムフローとバウンダリの設定
 - ②インベントリデータ収集手順と考え方の設定
 - ③素材・部品調達段階、製造段階、使用段階、輸送段階、
廃棄・リサイクル段階などデータ収集
- 収集したインベントリデータについて、LCAソフト「NIRE-LCA Ver.3」により
インベントリ分析を実施
算出インベントリは、CO₂、SO_x、NO_x、BOD、COD、SS、全リン、全窒素とした
(全ライフサイクルでの算出はCO₂のみ)
- 廃棄リサイクル段階について、本格稼動している家電リサイクルプラントにおける
実測値によるデータ収集と本格稼動前の家電リサイクル実証プラントでのデータ
との比較・検証を実施
- 算出結果をLCAプロジェクトデータベースへ登録

● 対象製品

対象製品	1999冷凍年度製電気冷蔵庫	製品質量	80kg
定格内容積	400L前後	機能	インバータ制御 アイスメーカー付冷凍冷蔵庫
ドア数	4ドア または 5ドア	販売時期	1999冷凍年度 (1998/10～1999/9)

● インベントリ分析結果



ライフサイクル 段階	CO ₂ 排出量(kg-CO ₂)	
	kg	%
調達(素材)	186.0	6.6
製造(組立)	19.3	0.7
輸送	7.7	0.3
使用	2714.4	95.8
回収	2.6	0.1
リサイクル処理	2.6	0.1
リサイクル控除	-99.8	-3.5

＊リサイクル控除:家電リサイクルプラントで回収・リサイクルされた金属類を再生資源として利用。

● 成果

- ✓ 家電製品に関する一般的なLCI分析/評価の手順及び手法が定着した。
- ✓ インベントリ分析におけるデータの精度が向上した。
- ✓ 廃棄・リサイクル段階について、家電リサイクルに基づく「マテリアルリサイクル」のシナリオ設定を行い、その効果について定量的な評価、検証が可能となった。
- ✓ 電気冷蔵庫の場合、ライフサイクル全体の評価(LC-CO₂)の中で、使用段階の影響が支配的であることが、定量的に評価、検証できた。

● 課題

- ✓ バウンダリが未調整のデータベースを活用することの難しさ。
- ✓ 電子部品については、インベントリデータの入手が困難(評価当時)。
- ✓ 素材・部品調達段階については、詳細にそのインベントリデータを積上げていく算出方法は、その困難さに対して、得られる成果が見えにくい。

2)重電・産業システム機器のLCI評価

2004年度～2006年度

- 重電・産業システムにおけるLCA評価方法の確立を目指し、主要10製品のLC-CO₂について調査・検討・分析を行い、各製品の特徴と、評価を行う際の課題抽出を実施。

[評価対象製品]

- ① 産業用インバータ 200V 11kW
- ② 産業用インバータ 400V 15kW
- ③ 産業用プラント制御装置
- ④ 高圧開閉器盤 6.6kV
- ⑤ 変圧器 20MVA級
- ⑥ 水素冷却発電機 240MVA級
- ⑦ 変圧器 200MVA級
- ⑧ ガス遮断器 300kV 4000A GCB
- ⑨ 空気冷却発電機 160～200MVA級
- ⑩ 火力発電所向け制御装置

【インバーター】



【変圧器】



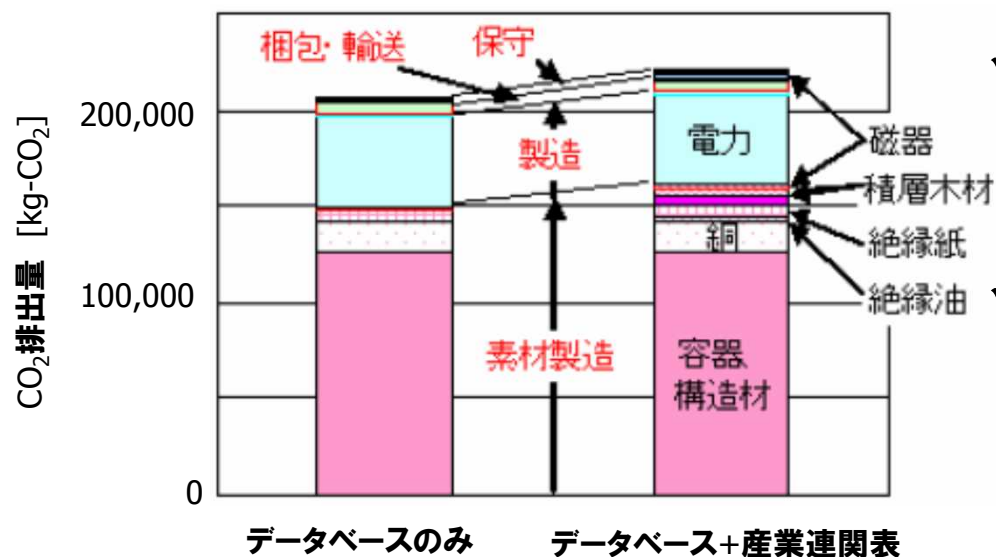
写真出典: JEMAウェブサイト

http://jema-net.or.jp/Japanese/info/product_data.html

2008年

- 重電及び産業システム機器ライフサイクルCO₂排出量評価ガイドライン(JEM-TR243)及び代表8製品の事例集を発行。

● 対象製品と分析結果 国内向け3φ200MVA変圧器(変電所用)



変圧器のCO₂排出量評価結果※

- ✓ 参照データベースで欠落している原単位について、産業連関表データを活用
→ 変圧器のCO₂排出量が約10%増加
- ✓ 変圧器では、素材製造工程におけるCO₂排出量が最も大きい。
梱包・輸送工程及び保守工程の環境負荷は小さい。

● 成果

- ✓ 業界(工業会)内でのLCI評価方法の定着。
(データが存在しない素材に対する代替方法 など)
- ✓ 重電・産業システム製品10製品毎に、その特徴を踏まえ、製品ライフサイクルにおける環境負荷を明らかにした。

● 課題

- ✓ データベースの拡充及び継続的な管理。

※出典: JEMA 機関誌「電機」2005・6」

● 重電分野の電子回路基板標準データの策定

(1) 評価対象: 代表6基板(基板1~4)

基板1: パワー基板(4層)

(約600g: 180 × 268 × 1.6mm)

基板2: 制御端子基板(4層)

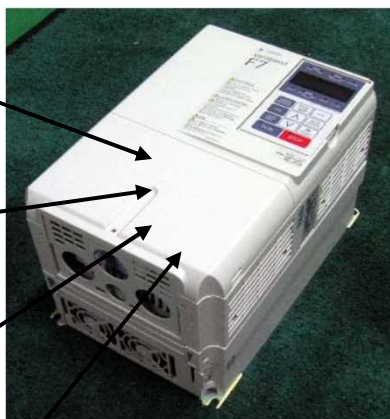
(約140g: 126 × 49 × 1.6mm)

基板3: 制御基板1(4層)

(約130g: 126 × 156 × 1.6mm)

基板4: LEDオペレータ基板(2層)

(約40g: 65 × 124 × 1.6mm)



W × H × D:
200 × 300 × 197mm

(2) 評価対象: 代表6基板(基板5,6)

基板5: 制御基板2(4~8層)

(約1300g: 400 × 320 × 2mm)

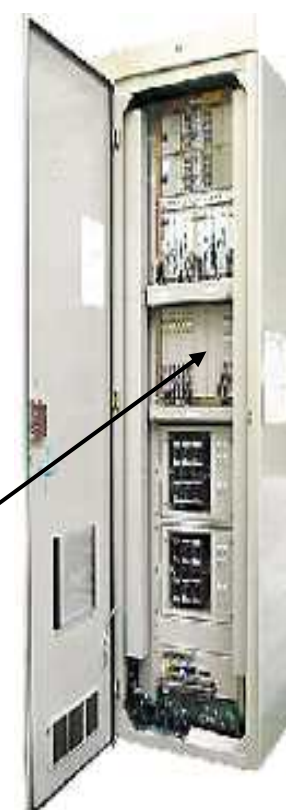


基板6: I/O

基板

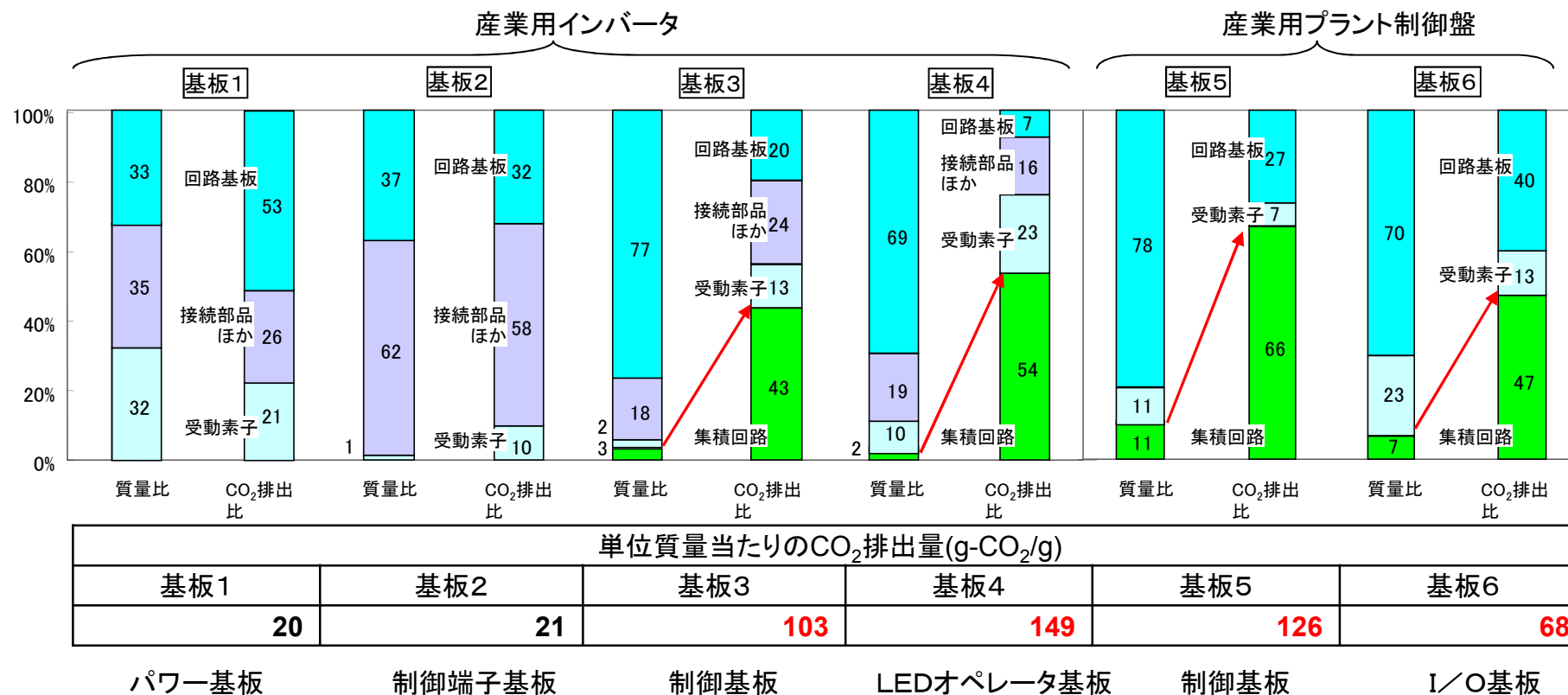
(2~4層)

(約1200g:
400 × 320 × 2
mm)



W × H × D:
600 × 2300
× 700mm

● 重電分野の電子回路基板標準データの策定



単位質量当たりのCO₂排出量

基板1, 2

<

基板3~6

(集積回路不含)

(集積回路含有)

集積回路は軽量でも環境負荷が大

主要部材

- 回路基板
- 接続部品ほか: スイッチ、コネクタ、その他の実装部品
- 受動素子: 抵抗、コンデンサ、変成器、ダイオード、LED、フォトカプラ
- 集積回路(半導体素子含む)

※出典:平成19年電気学会全国大会発表要旨誌 2007.3

● 重電分野の電子回路基板標準データの策定

評価結果から電子回路基板を下記に分類

分類A: 集積回路、半導体素子を多く含む基板

(制御基板1, LEDオペレータ基板, 制御基板2及びI/O基板)

分類B: 受動素子、接続部品を多く含む基板

(パワー基板及び制御端子基板)

電子回路基板分類	標準原単位
分類A	150g- CO ₂ /g
分類B	25g- CO ₂ /g

過小評価回避のため厳しい側に標準値を設定

3. 家電製品, 重電・産業システム機器 分野のライフサイクルCO₂分析

ー新たな取り組みと業界標準確立へ

- 1)家電製品(電気冷蔵庫)のLCI再評価**
- 2)重電・産業システム機器のLCI(JEM-TR243)改正**
- 3)成果と今後の取り組み**

1)家電製品(電気冷蔵庫)のLCI再評価

● 検討目的

- ✓ 1999年;当会事業にて電気冷蔵庫のLCI分析を実施
- ✓ その結果を第1期LCAプロジェクトへ提供

製品仕様や
ライフサイクルシナリオ
の変化

- ・ 真空断熱材や高効率コンプレッサーの採用等による省エネ性能の向上
- ・ 製造工程やリサイクル状況の変化
- ・ 消費電力量測定方法の変更
- ・ 製造拠点の海外シフト など

- ✓ 2010年における業界の代表モデルを作成
- ✓ 部品加工の製造負荷や海外製造を考慮し、最新のライフサイクルシナリオに基づき、LCI分析についての検討を開始

●対象製品：電気冷蔵庫メーカー各社の主力機種である下記製品を評価モデルとして設定。

	1999年度対象製品	2010年度対象製品
定格内容積	約400L	501L
ドア数	4ドア or 5ドア	6ドア
機能	インバーター制御、アイスメーカー付冷凍冷蔵庫	
年間消費電力量の測定方法	JIS C 9801:1999	JIS C 9801:2006(※)
販売時期	1999冷凍年度 (1998/10～1999/9)	2010冷凍年度 (2009/10～2010/9)
冷媒	HFC134a(代替フロン)	R600a(イソブタン)
断熱材発泡剤	シクロペンタン	
断熱材	発泡ウレタン	発泡ウレタン＋真空断熱材

※主な変更点：周囲温度(25℃365日→15℃185日+30℃180日)、設置条件(側面隙間30cm→5cm)、庫内負荷投入、冷蔵庫ドア開閉(25回/日→35回/日)、アイスメーカーなどの付加機能作動

評価モデルに関して、当工業会加盟の電気冷蔵庫メーカー(5社)より、必要データを収集。

ライフ サイクル	項目	インベントリデータ設定・収集条件
調達	素材	冷蔵庫製造メーカーへ調査を依頼。素材構成のデータを収集し、平均値を採用。
	部品加工	自社工場外で加工・製作している部品については、部品加工の原単位を用いることによって、環境負荷を考慮。
製品 製造	投入エネルギー	冷蔵庫製造メーカーへ調査を依頼し、平均値を採用。製造工場における電力、都市ガス、LPG、灯油、重油、上下水道、エアーなどの投入量について収集。
	廃棄物	冷蔵庫製造メーカーへ調査を依頼し、平均値を採用。 金属はリサイクル、その他廃棄物は埋立処分しているものと設定。
製品 輸送	輸送距離	工場 → 物流拠点：全国への輸送の平均として、東京・大阪間の距離を設定。 物流拠点 → 購入者：輸送距離は1999年度の算出条件を参考に設定。
	積載台数	対象冷蔵庫の包装外形サイズに基づいて設定。
使用	年間消費電力量	対象製品の年間消費電力量の平均値を採用（287kWh/年）。
	使用年数	「家電製品の使用実態と消費者の意識調査報告書（平成21年度）」（（財）家電製品協会）の調査結果を採用（10.4年）。
回収 輸送	輸送距離	現在施行されている家電リサイクル法の回収の仕組みに基づいて設定。
	積載台数	対象冷蔵庫の製品外形サイズに基づいて設定。
リサイ クル	リサイクル処理の 使用エネルギー	家電リサイクルプラントへ調査を依頼。調査結果の中から、電気冷蔵庫処理の専用ラインにおける消費電力量のデータを業界の代表値として採用。
	リサイクル控除	家電リサイクルプラントにて金属が回収されて再利用されることにより、製造負荷（原材料から回収された金属の状態まで）が、減算できると設定。回収率は95%。
処分	廃棄物の取扱い	回収される金属以外は全て埋立処分するものと設定。

●再評価の考慮ポイント

- (1) 部品加工による環境負荷の考慮
- (2) 電子回路基板の製造による環境負荷の考慮
- (3) 海外シナリオの設定（対象国：中国、タイ）
海外での製造および海外から日本までの輸送を考慮して、
以下のシナリオを設定

【製品製造(組立)段階】

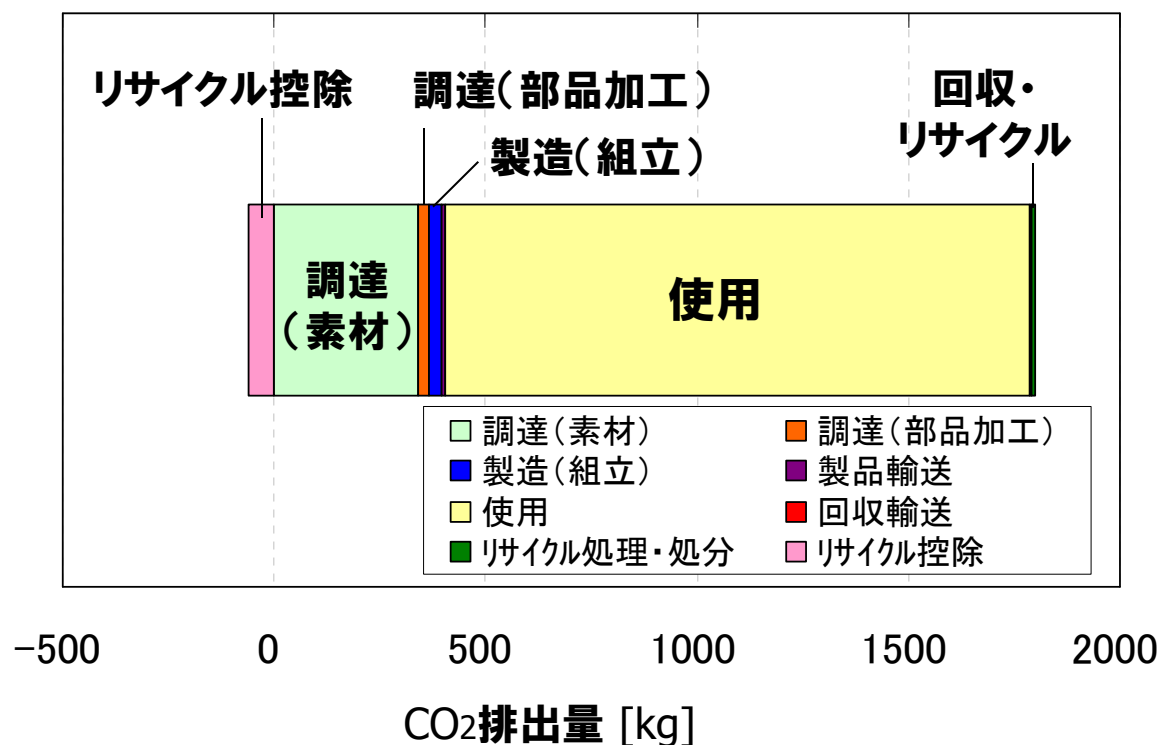
投入エネルギーのうち、電力について、当該国における
CO₂排出原単位を利用

【輸送シナリオ】

製造拠点から港湾までの輸送および、船舶による
海上輸送におけるシナリオを設定

●インベントリ分析結果(サマリー)

2010年度対象製品(国内製造)
のライフサイクルにおけるCO₂排出量



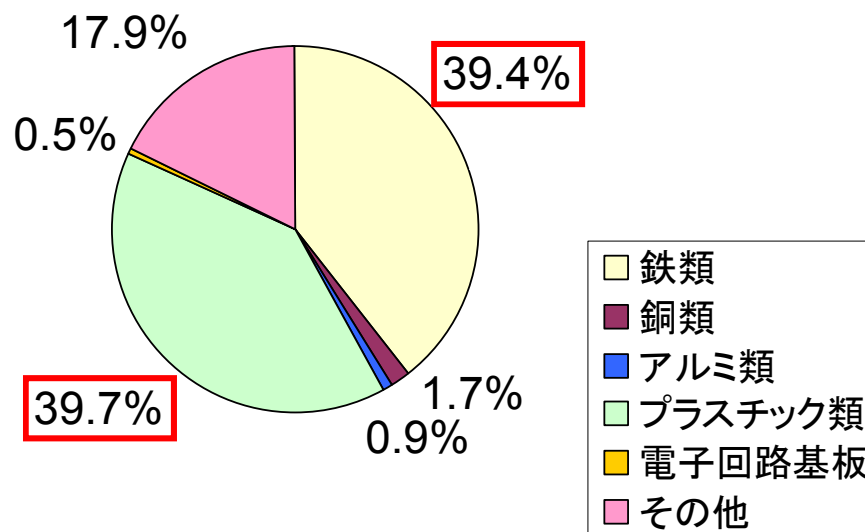
ライフサイクル段階	CO ₂ 排出量[kg]	
調達(素材)	325.5	19.0%
調達(部品加工)	27.1	1.6%
製造(組立)	26.1	1.5%
輸送	11.0	0.6%
使用	1,382.0	80.9%
回収輸送	3.2	0.2%
リサイクル処理・処分	8.4	0.5%
リサイクル控除	-74.3	- 4.3%
合計	1,709.0	100.0%

- ✓ 2010年度対象製品のライフサイクルにおけるCO₂排出量は、約1,709 kg。
- ✓ 使用段階の負荷は、全体の約80%を占める。

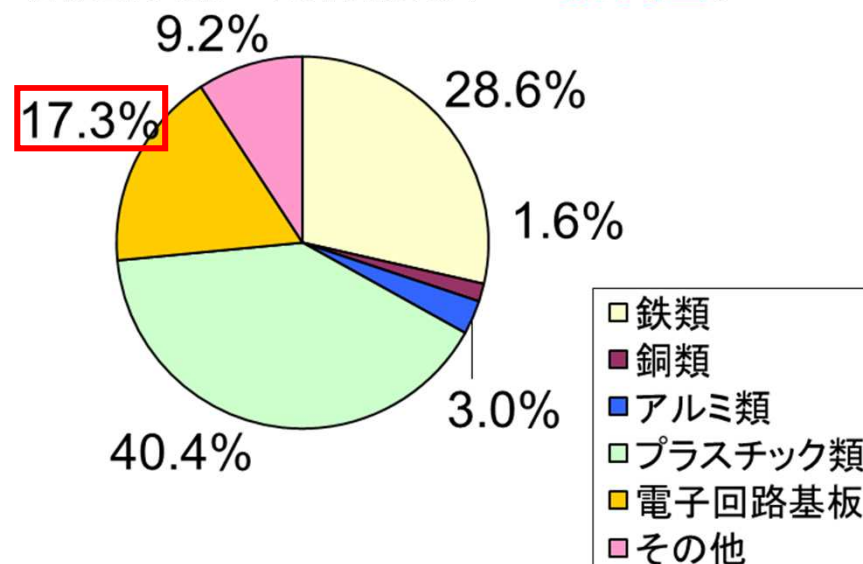
※この分析は、産業環境管理協会において、外部専門家によるクリティカルレビューを実施。

●インベントリ分析結果(調達段階)

調達部品の素材構成(質量)



調達部品の素材構成(CO₂排出量)



素材	質量 [kg]		CO ₂ [kg](素材、部品加工)	
鉄類	40.4	39.4%	93.0	28.6%
銅類	1.7	1.7%	5.1	1.6%
アルミ類	0.9	0.9%	9.6	3.0%
プラスチック類	40.7	39.7%	131.5	40.4%
電子回路基板	0.5	0.5%	56.4	17.3%
その他	18.4	17.9%	30.0	9.2%
合計	102.5	100.0%	325.5	100.0%

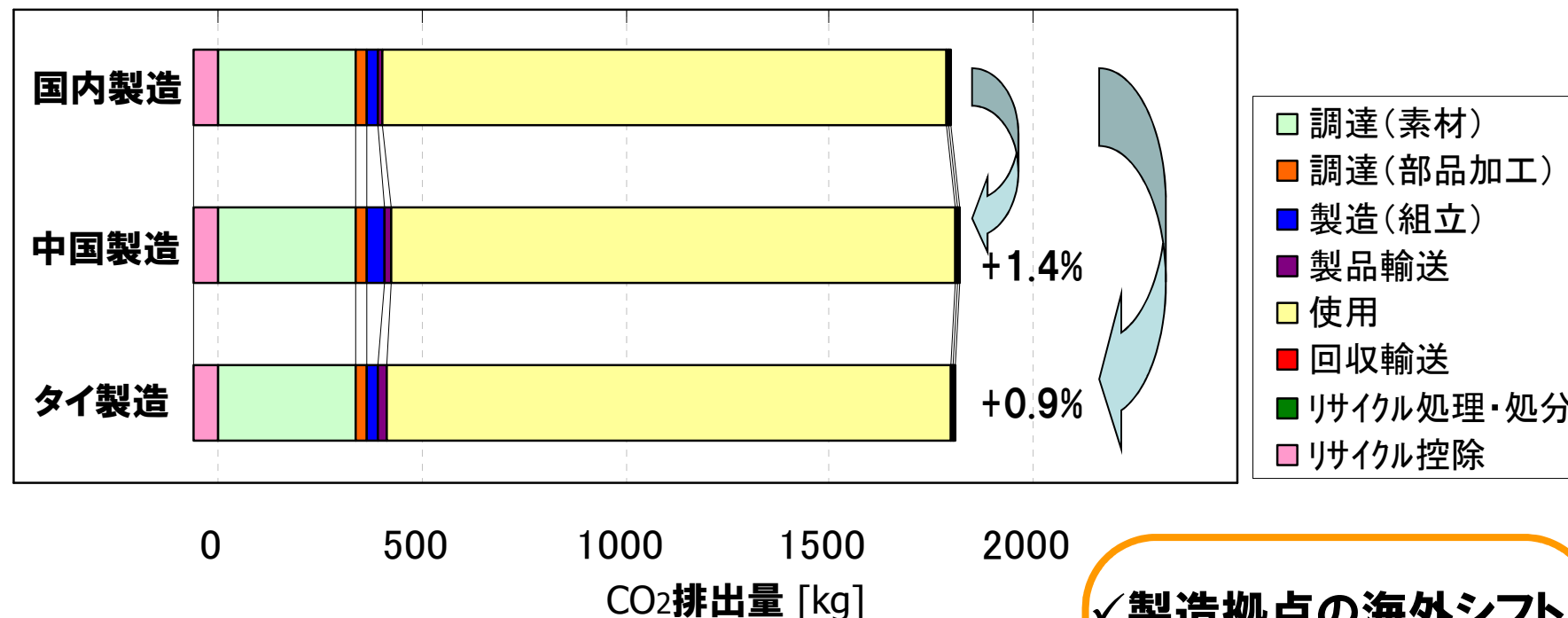
✓ 素材質量では、金属とプラスチックの構成比率はともに約40%。

✓ CO₂排出量では、電子回路基板の負荷が無視できない。

●製造拠点海外シフトの影響:2010年度対象製品の製造拠点別CO₂排出量

設定条件:製造段階:製造国の電力原単位

輸送段階:海上輸送(中国:2,000km, タイ:4,000km)を考慮



ライフサイクル	CO ₂ 排出量 [kg]		
	国内製造	中国製造	タイ製造
製造(組立)	27.1	41.4	26.4
製品輸送	11.0	17.8	26.3
CO ₂ 排出量合計	1,709.0	1,731 (+1.4%)	1,724 (+0.9%)

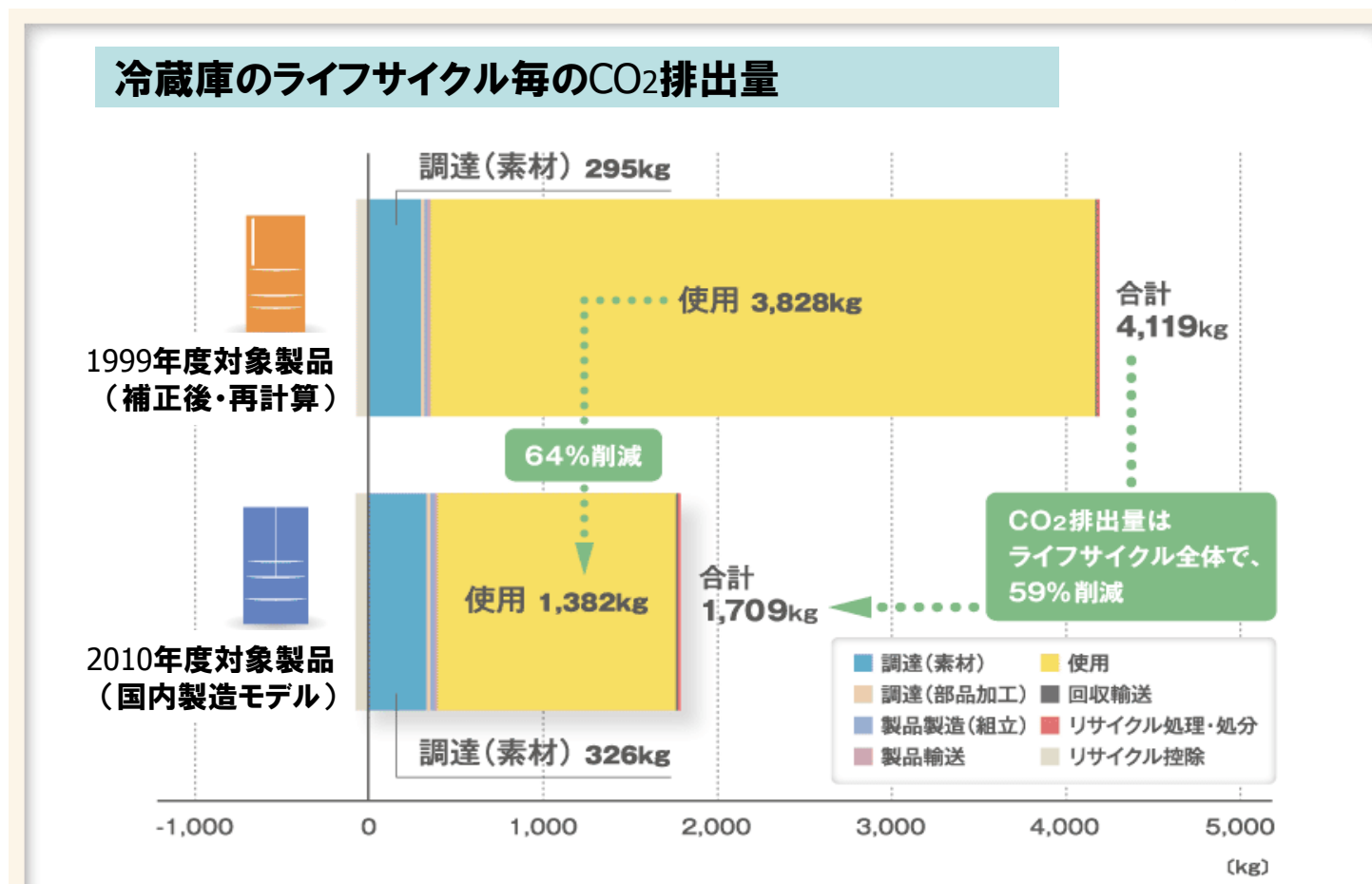
✓製造拠点の海外シフトに伴う製造、輸送段階の負荷増は、製品ライフサイクルの+0.9~+1.4%程度。

●1999年度対象製品と2010年度対象製品の比較(補正作業)
-当時の評価データを今回の評価条件のもとで再計算

ライフ サイクル	項目	1999年度対象製品 (前回評価条件)	1999年度対象製品 (補正条件)
全体	原単位	NIRE-LCA(Ver.3)	MiLCA(Ver.1.0.3)
調達	部品加工の負荷	考慮していない	考慮(部品加工原単位を利用)
	電子回路基板の 負荷	考慮していない	考慮(JEMA重電産業システム機器 LCA検討WG試算原単位を利用)
製品 輸送	輸送ルート	製造拠点→物流拠点	製造拠点→物流拠点 →購入者まで
使用	年間消費電力量 (測定方法)	534kWh/年 (JIS C 9801:1999)	795kWh/年(※) (JIS C 9801:2006)
	使用年数	12年 (家電製品協会の使用実態 調査による)	10.4年 (家電製品の使用実態と消費者の 意識調査報告書(平成21年度))
リサイ クル	リサイクルプラントに おける電力	0.24kWh/年 (実証プラントのデータによる)	0.159kWh/年 (家電リサイクルプラントより収集)

※省エネ性能カタログ、しんきゅうさん等で公開されている補正データより、1999年度401L~450Lクラスの最大値と最小値の中央値を用いた。

●1999年度対象製品と2010年度対象製品のCO₂排出量の比較結果

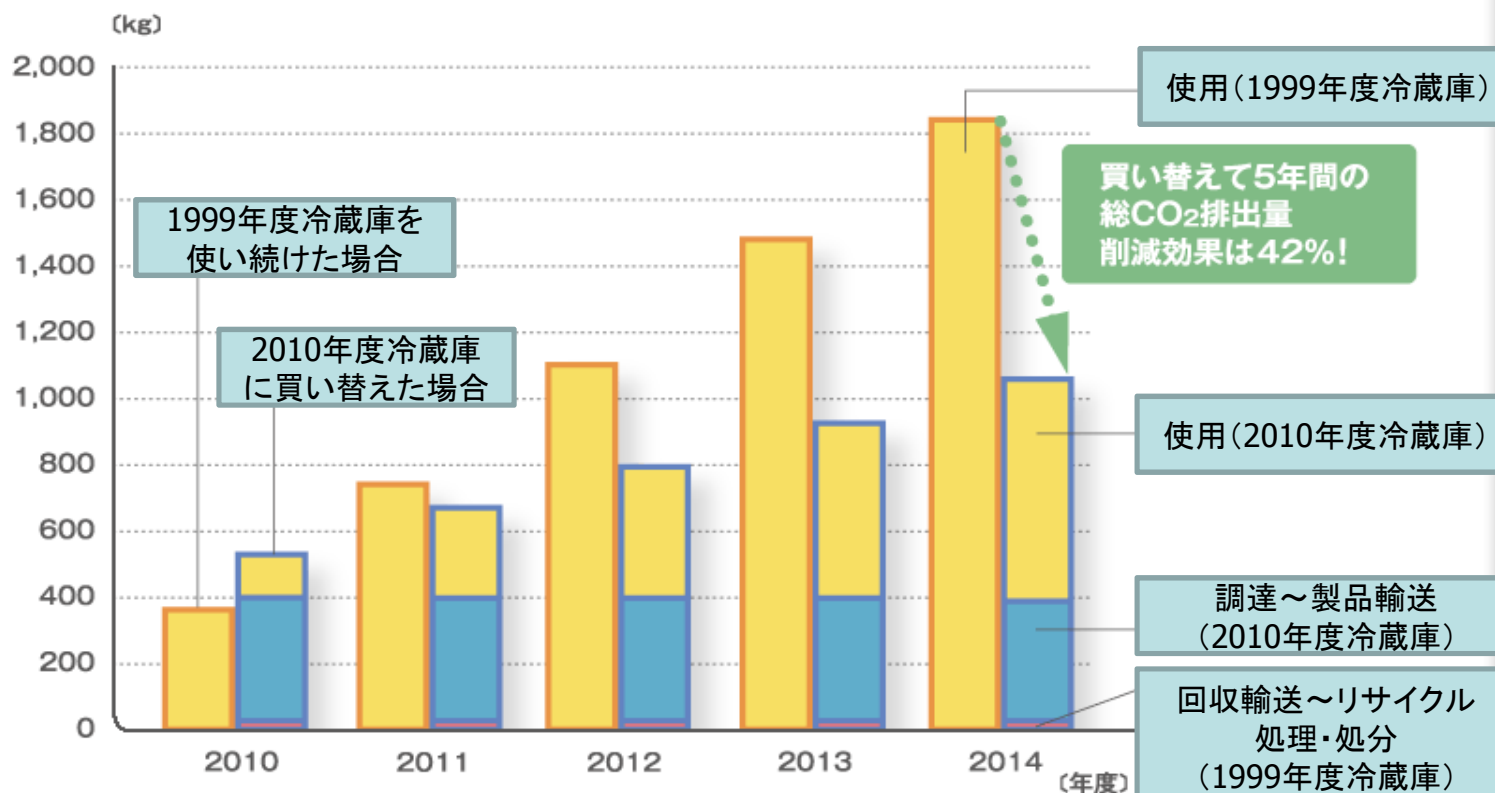


CO₂排出量の比較結果

- 調達(素材)段階 : 約10%増加
- ライフサイクル全体 : 約59%減少
- 使用段階 : 約64%減少

●買い替えによるCO₂削減効果

1999年度冷蔵庫を使い続けた場合と、2010年度冷蔵庫に買い替えた場合のCO₂排出量の比較



1999年度冷蔵庫を使い続けた場合よりも、2010年度冷蔵庫に買い替えた場合の方が、2年目以降、CO₂排出量が減少。5年間の総CO₂排出量では、42%削減。

●考察と結論

2010年度対象製品の算出結果

- ✓ 冷蔵庫のライフサイクル全体におけるCO₂排出量は約**1,738 kg**であった。
- ✓ 使用段階が最も大きく、約**80%**を占めている。
- ✓ 製造拠点の海外シフトによる製造、輸送段階への影響はライフサイクル全体の**+0.9%~+1.4%**に過ぎない。

2010年度対象製品と1999年度対象製品の比較結果

- ✓ 調達(素材)段階は約**10%**増加。
⇒庫内容積の増加
- ✓ 使用段階は約**64%**減少。
⇒真空断熱材等の採用による省エネ性能の大幅向上
- ✓ ライフサイクル全体で比較すると約**59%**減少。

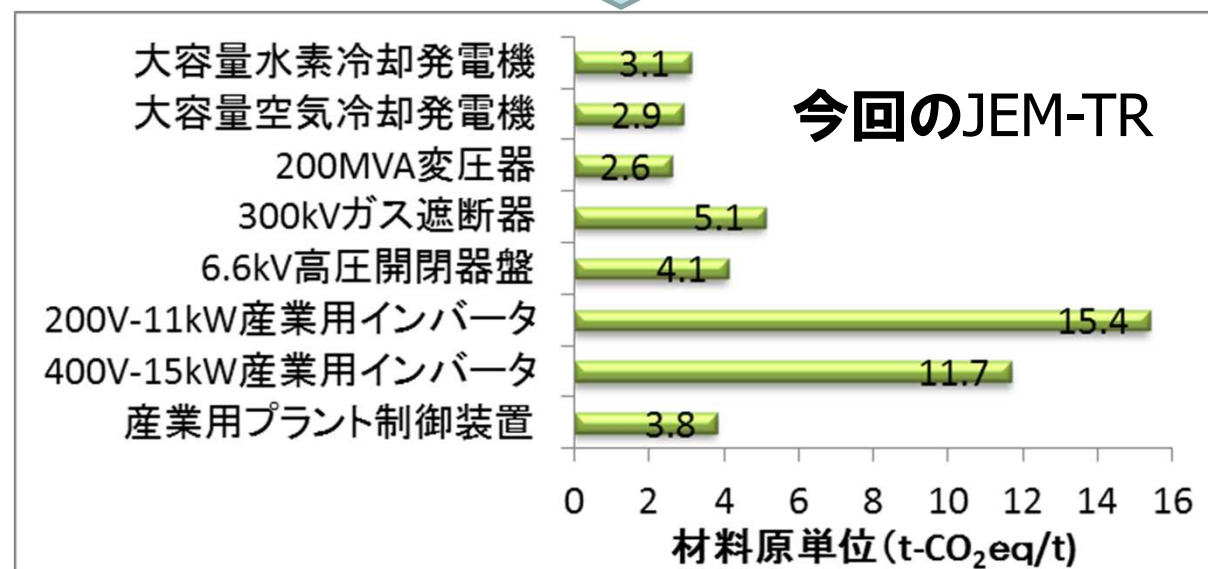
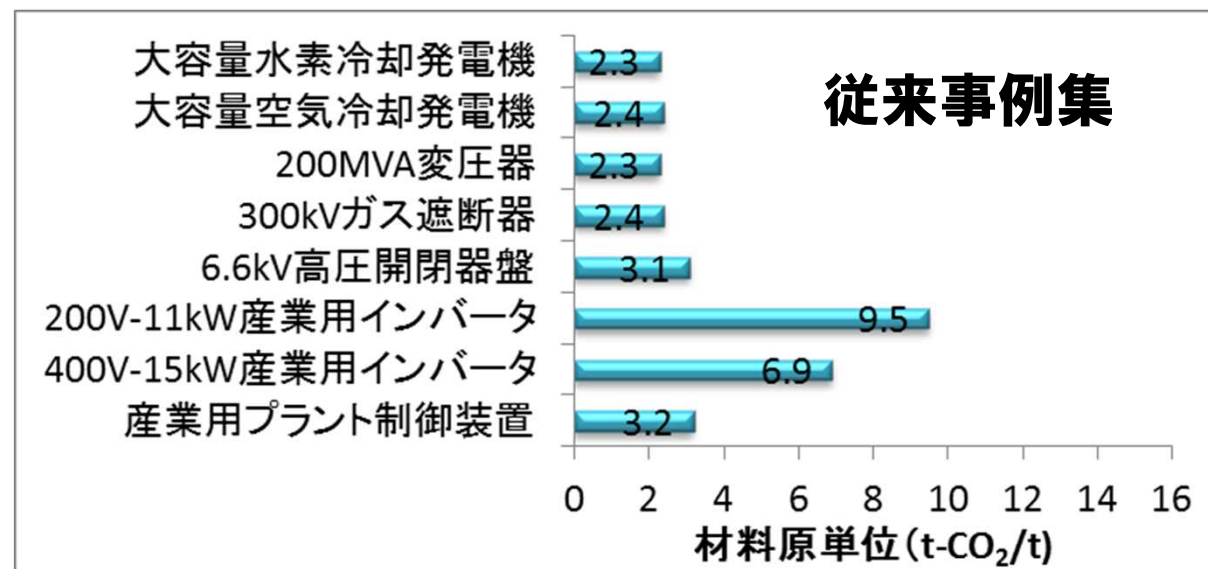
●主な改正点

- ・ 評価対象の見直し
CO₂からGHGに
- ・ 使用する産業連関表データの更新
2000年版→2005年版
- ・ 引用規格を最新のものに整合
- ・ 事例集をTRに統合
従来、WG内の技術資料として非公開であった評価事例集を附属書A～IとしてTRに統合、公開資料とした
- ・ 評価事例の更新
原単位データ、基板計算方法

●評価事例更新(1)

JEM-TR243に沿って 実施した代表8製品 の材料原単位* を更新

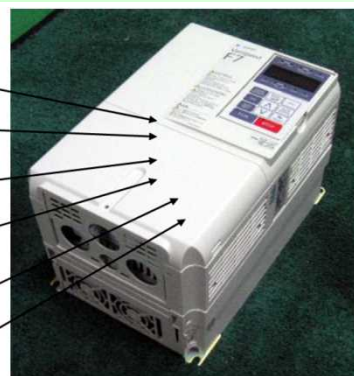
*)材料原単位は、運転段階を除いた材料段階の原単位。
企業のLCA評価者が材料のインベントリ分析結果を比較できるための事例として提示。



●評価事例更新(2) 重電分野の電子回路基板標準データ



パワー基板(基板1)
制御端子基板(基板2)
コントロール基板(基板3)
LEDオペレータ基板(基板4)
主回路部品
その他原材料



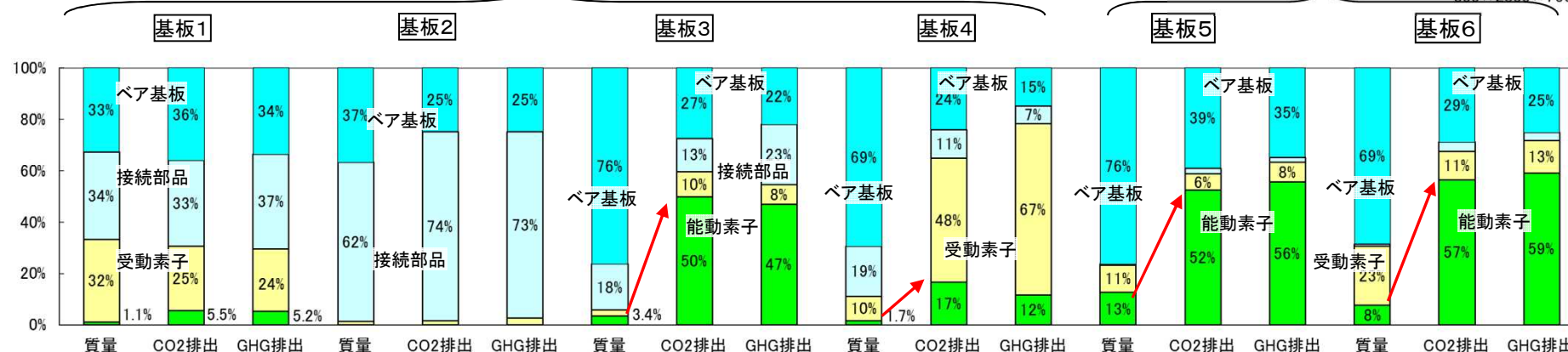
W×H×D:200×300×197mm
産業用インバータ

主要部材

- ペア基板
- 接続部品: スイッチ、コネクタ、その他の実装部品
- 受動素子: 抵抗、コンデンサ、変成器、ダイオード、LED、フォトカプラ
- 能動素子: 集積回路、半導体素子



制御基板(基板5)
入出力基板(基板6)
産業用プラント制御盤
W×H×D: 600×2300×700mm



単位質量当たりの排出量 ()は既存分析結果※)											
基板1 パワー基板		基板2 制御端子基板		基板3 コントロール基板		基板4 LEDオペレータ基板		基板5 制御基板		基板6 入出力基板	
CO ₂ 排出 (g-CO ₂ /g)	GHG排出 (g-CO ₂ eq/g)	CO ₂ 排出 (g-CO ₂ /g)	GHG排出 (g-CO ₂ eq/g)	CO ₂ 排出 (g-CO ₂ /g)	GHG排出 (g-CO ₂ eq/g)	CO ₂ 排出 (g-CO ₂ /g)	GHG排出 (g-CO ₂ eq/g)	CO ₂ 排出 (g-CO ₂ /g)	GHG排出 (g-CO ₂ eq/g)	CO ₂ 排出 (g-CO ₂ /g)	GHG排出 (g-CO ₂ eq/g)
23 (20)	27	22 (21)	24	58 (103)	78	54 (97)*	94	149 (126)	181	77 (68)	95

※) 2005年IO原単位の算定では既存分析※)に対し割り付け先を変えたため、2000年IO原単位を用いる既存分析結果は再計算した値となっています。

出典: JEMA 重電・産業システム機器LCA検討WG: “重電・産業システム機器向け電子回路基板および主回路部品の温室効果ガス排出量の算定”
日本LCA学会誌 Vol11. No.4(2015)

既存分析※) 同: 産業連関表を用いた重電及び産業システム機器向け電子回路基板のLC-CO2評価 平成19年電気学会全国大会(2007年)

3)成果と今後の取り組み

●これまでの成果

- ✓インベントリ分析手順・評価方法確立
 - 標準化(工業会規格発行) JEM-TR 243,253
 - クリティカルレビュー実施による信頼性確保
 - 重電・産業システム機器分野 電子回路基板標準原単位の検討
 - 家電製品LCA算出ツール(汎用ツール)の作成
- ✓報告書作成及び評価結果公表(LCA学会誌他)
- ✓消費者向け情報発信/啓発(JEMA Web「家電エコ用語ナビ」他)

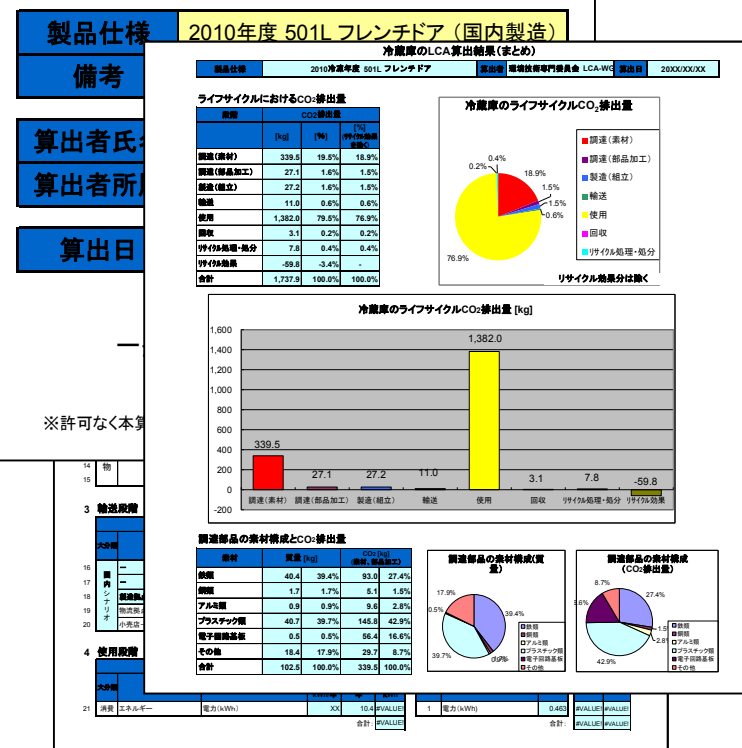


●更なる検討

- ✓家電製品LCI分析:簡易評価手法の検討
 - 素材インベントリ項目の分類の見直しや整理
 - 主要部品単位でのCO₂排出原単位の設定
- ✓重電・産業システム機器分野 電子回路基板標準原単位の検討
 - 基板データの追加, 実装密度, 層数等との相関及び傾向の詳細検討(継続)

JEMA-LCA算出ツール

(冷蔵庫版 Ver.2.0)



環境技術専門委員会（2014年1月23日発表時）

（委員長）	株式会社日立製作所	高橋 和範
（副委員長）	富士電機株式会社	原 信
（委員）	シャープ株式会社	相原 史郎
	株式会社東芝	竹山 典男
	パナソニック株式会社	安田 雅克
	日立アプライアンス株式会社	二階堂 透
	三菱電機株式会社	高橋 徹也

LCA-WG（2014年1月23日発表時）

（主査）	三菱電機株式会社	内山 知重
（委員）	シャープ株式会社	清水 重利
	株式会社東芝	竹山 典男
	パナソニック株式会社	本池 祥子
	日立アプライアンス株式会社	二階堂 透
	株式会社日立製作所	田島 京子
	三菱電機株式会社	川口 洋平

重電・産業システム機器LCA検討WG（2014年1月23日発表時）

（主査）	株式会社東芝	野田 英樹
（副主査）	富士電機株式会社	増田 昌彦
（委員）	東洋電機製造株式会社	野々村 善雄
	株式会社日立製作所	富沢 宏
	三菱電機株式会社	上田 晃司
	株式会社明電舎	三寺 崇文
	株式会社安川電機	山中 泰礼



ご清聴ありがとうございました。