

厨房、空調、発電用途での 温室効果ガス排出量調査

概要版

平成14年9月

(財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)
委託元: 日本LPガス協会 (JLPGA)

I. 概要

本調査は、今後の環境政策の一助となることを目的として、各種燃料・エネルギーの環境性について従来報告されてきた多種多様のデータを整理し、最新の情報を基に再検討を行うことにより、LCA（ライフサイクルアセスメント）的な観点から燃料・エネルギーの温室効果ガス排出原単位を求めると共に、各種エネルギー機器使用時のCO₂排出量の比較検討を行ったものである。

1. 各種燃料・エネルギーの温室効果ガス排出原単位調査

総発熱量ベースにおけるLCA的温室効果ガス排出原単位は石炭 110.12、石油 84.73、LNG 72.49、都市ガス 73.39、LPG 74.94 g-C/Mcalと計算された。真発熱量ベースでは、石炭、114.71、石油 91.11、LNG 80.55、都市ガス 81.56、LPG 81.46 g-C/Mcalとなった。結果の詳細を検討すると、輸送段階では全燃料とも海外輸送の燃料消費の影響が大きい。それぞれの燃料の特徴については、石炭は採掘時のメタン漏洩が多く、石油は精製時の燃料消費の影響が大きいことである。また、LNG、都市ガスおよびLPGは液化時の燃料消費の影響が非常に大きい。一方、今回は新たな試みとして、この液化時発生CO₂の各液化製品への按分方法について見直しを行っている。その結果、LNG、都市ガス、LPGの温室効果ガス排出原単位の差は極僅かであることがわかった。計算方法の誤差などを考慮すると、これら3つのエネルギーはガス体燃料として同等とみなし、他エネルギーとの比較を行うのが妥当と考えられる。

2. 各種エネルギー機器の環境特性(省エネ特性)調査

厨房、空調、発電分野で各種燃料・エネルギーを用いた機器の環境特性（温室効果ガス排出原単位）の比較を行った。具体的には各種燃料・エネルギーを用いたコンロ、給湯器、空調機の比較や、大規模発電所からの電力とコージェネ機器との比較評価を行った。今回の評価では、燃料・エネルギーの温室効果ガス原単位はLCA的に求めた値を用いると共に、電力については火力発電（需要端）平均を用いたが、この場合、全体的にガス体燃料が電力より優位に立つ傾向が見られた。特徴的なことは、業務用の大型空調分野ではガスヒートポンプ（GHP）式空調機は電力の日負荷低減効果を持つだけでなく、実際に電気ヒートポンプ（EHP）式空調に比べてCO₂排出原単位が大幅に小さいということである。また、ガスエンジンコージェネ機器や燃料電池のような熱電併給型電源の場合、回収排熱の徹底化を図れば商用電力よりもCO₂排出原単位を小さくできることもわかった。

3. エネルギー機器の組合せによるCO₂排出量削減効果

新たな試みとして、家庭用分野でのエネルギー消費データを用いて用途別のエネルギー必要量を想定した上で、様々な機器を組合せたケースの環境性（温室効果ガス排出量）の比較を行った。これはコージェネ機器の場合、回収熱量の活用によっては環境性に差が出るので、その効果を評価・確認するためである。特に本調査では、オール電化住宅の場合と、ガスエンジンコージェネ機器あるいは燃料電池（固体高分子形燃料電池：PEFC）等ガス機器を中心とした設定の場合との温室効果ガス排出量を中心に比較した。

その結果、オール電化住宅は給湯機器を電気ヒーター温水器にすると、一般的な機器組合せで設定した場合よりも温室効果ガスが多く排出してしまう点に注意が必要であることがわかった。また、ガスタイプのコージェネ機器、燃料電池（PEFC）の場合、まず給湯需要に適合した機器選定を行ったうえで、熱需要に合わせた運転を行うのがポイントであり、排熱を回収しても有効利用を図らないと、単なる発電効率の低い電源となってしまう恐れがある。

4. 総合検討

LCA 的観点からは、LNG、都市ガス、LPG のガス体燃料の温室効果ガス排出原単位に有意な差はみられない。このことから、ガス体燃料同士で比べるのではなく、これらは大枠で同等のものとみなし、電力・石油・石炭・バイオマス等と比較検討すべきであろう。

また、ガス体燃料の使用機器の環境特性は従来考えられてきたよりも上方修正すべきであることがわかった。すなわち、使用条件さえ整えば、厨房分野、業務用空調分野、発電分野においては電気機器よりも優位となる結果が得られた。特に、業務用ガスヒートポンプ（GHP）式空調機やコージェネ機器（ガスエンジンタイプや PEFC）の導入は極めて有効な CO₂ 削減対策オプションと考えられる。

これらの結果から、電力や石油製品から LNG、都市ガス、LPG のガス体燃料への転換が CO₂ など温室効果ガス削減対策として極めて有効であることを国民に対して知らしめることが可能であり、分野によってはガス体燃料およびそれらを用いた機器の導入が望ましいと言える。

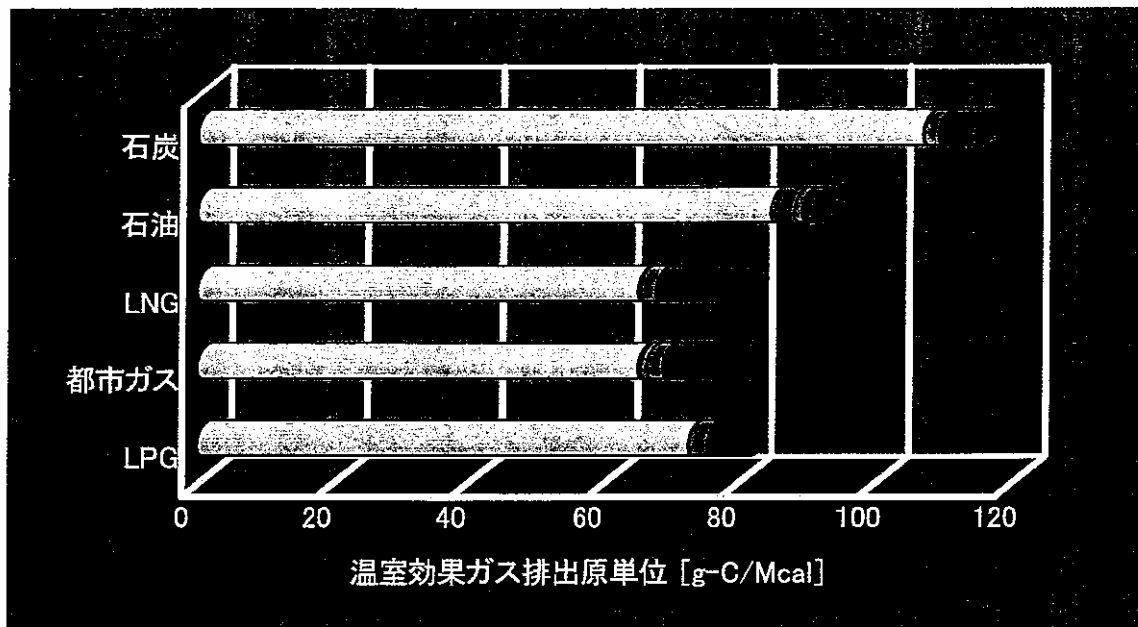


図1 燃料・エネルギーのライフサイクルインベントリ分析結果(真発熱量ベース)

燃焼
 設備
 二次生産
 輸送
 生産

表1 今回結果と文献との比較(真発熱量ベース)

単位:[g-C/Mcal]

	RITE 今回結果	日本エネルギー 経済研究所 1999年 調査	日本エネルギー 経済研究所 1998年 調査
石 炭	114.71	112.90	120.74
石 油	91.11	89.92	89.67
L N G	80.55	77.52	86.46
都市ガス	81.56	—	89.03
L P G	81.46	83.04	84.59

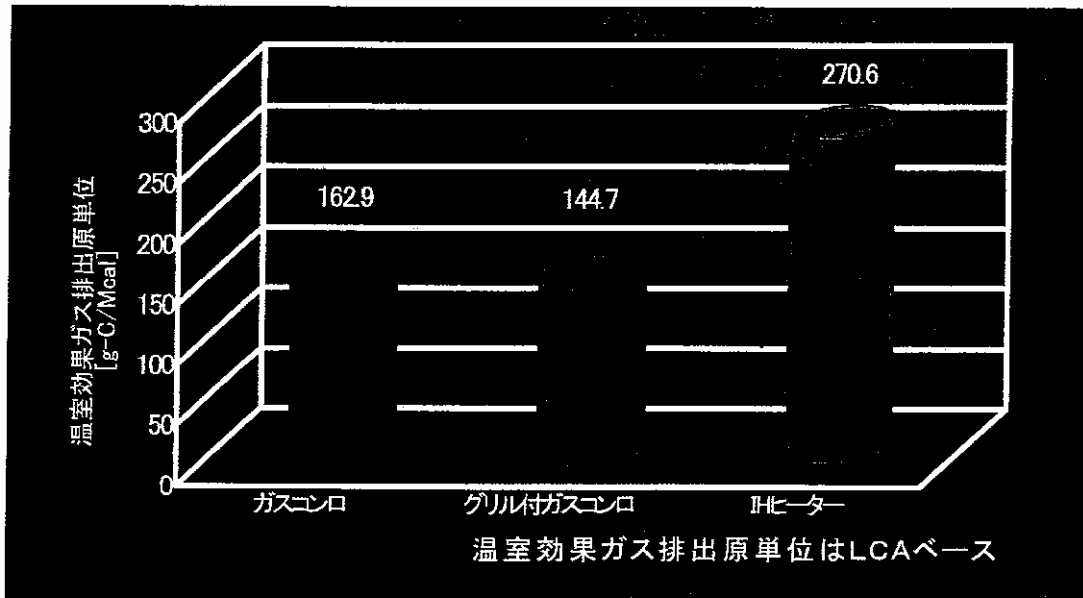


図2 調理機器使用時の温室効果ガス排出原単位

* ガス機器はLPGを燃料に使用した場合の値。

* IHヒーターは火力平均の需要端における電力を使用した場合の値。

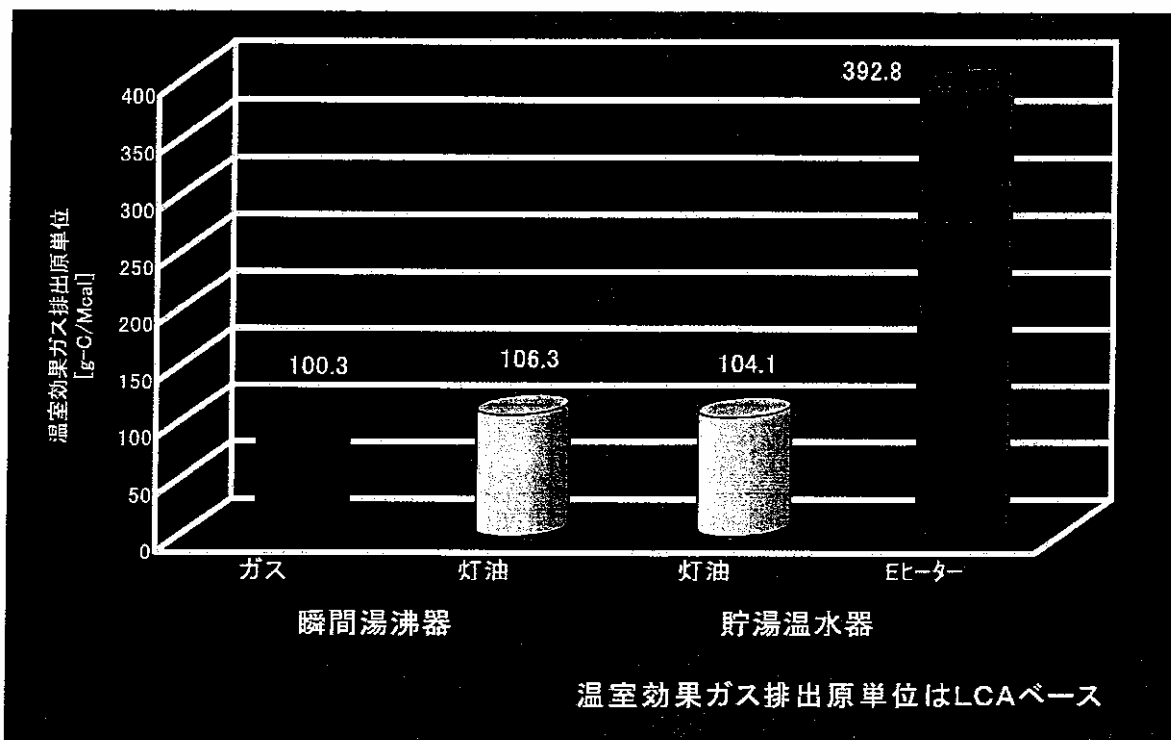


図3 給湯機器(直接加熱型)使用時の温室効果ガス排出原単位

* ガス機器はLPGを燃料に使用した場合の値。

* 電気機器は火力平均の需要端での電力を使用した場合の値。

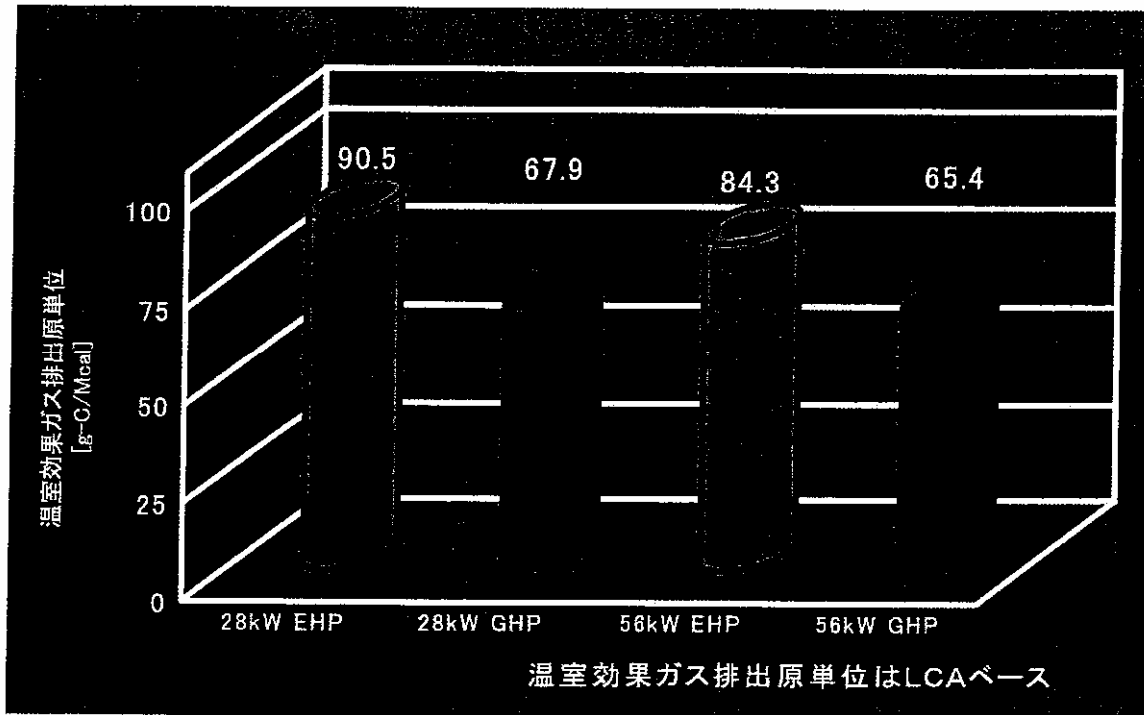


図4 業務用 EHP、GHP の温室効果ガス排出原単位(冷暖房平均)

* GHP は LPG を燃料に使用した場合の値。

* EHP は火力平均の需要端での電力を使用した場合の値。

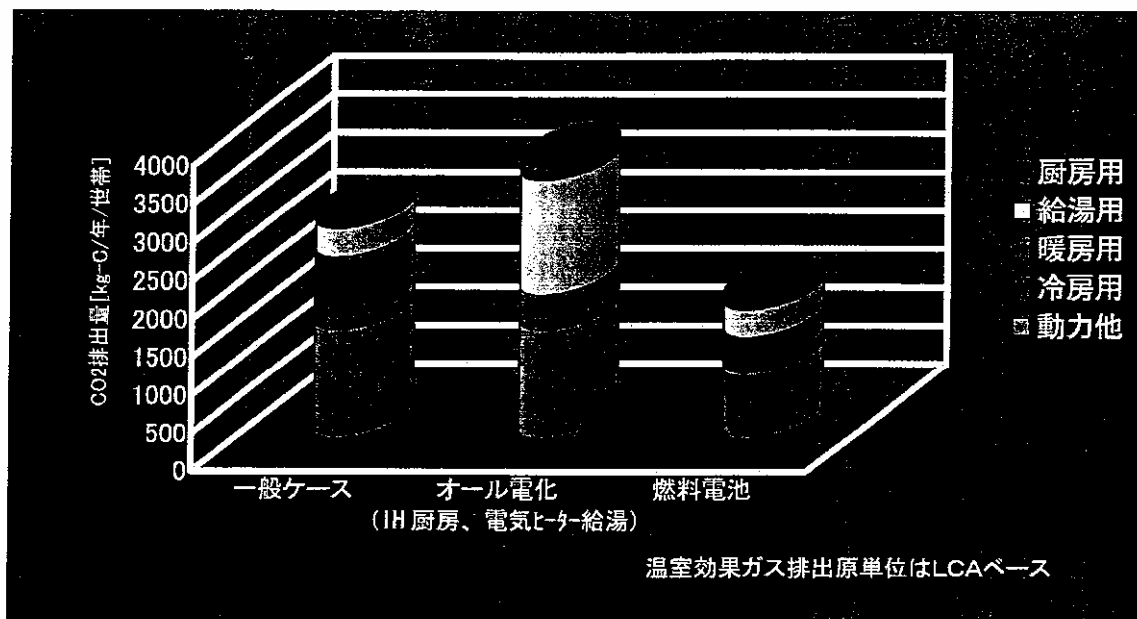


図5 エネルギー機器の組合せによる CO₂排出量(戸建住宅)

一般ケース:ガス厨房、ガス給湯、灯油暖房、電気エアコン冷房、動力は電力
 オール電化:IH 厨房、電気ヒーター給湯、電気エアコン冷暖房、動力は電力
 燃料電池 :ガス厨房、PEFC 給湯、電気エアコン冷暖房、動力の一部は PEFC 発電
 *ガス機器はLPGを燃料に使用した場合の値。
 *電気機器は火力平均の需要端での電力を使用した場合の値。

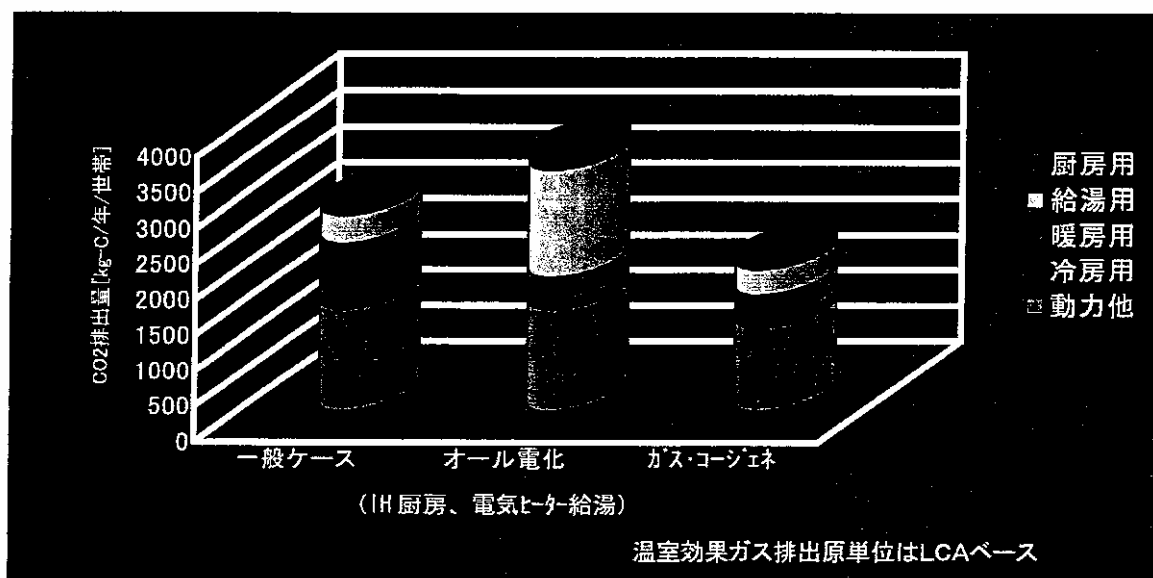


図6 エネルギー機器の組合せによる CO₂排出量(戸建住宅)

一般ケース:ガス厨房、ガス給湯、灯油暖房、電気エアコン冷房、動力は電力
 オール電化:IH 厨房、電気ヒーター給湯、電気エアコン冷暖房、動力は電力
 ガスエンジン・コージェネ :ガス厨房、ガスエンジン・コージェネ給湯、電気エアコン冷暖房、
 動力の一部はガスエンジン・コージェネ発電
 *ガス機器はLPGを燃料に使用した場合の値。
 *電気機器は火力平均の需要端での電力を使用した場合の値。

Ⅱ. 総合検討

本調査では今後の環境政策の一助となることを目的に、燃料・エネルギーの LCA 的観点からの温室効果排出量原単位を求めると共に、この原単位を用いて各種エネルギー機器の環境特性を調べてきた。本章では、今回の温室効果ガス排出量算定にあたっての設定あるいは計算結果について総合的に検討してみたい。

まず各種燃料の発熱量が従来と若干異なる点であるが、これは平成 12 年度に改訂されたエネルギーバランス表⁵⁾に対応したものであることから、特に問題はないと考える。また、燃焼時の CO₂ 排出原単位は環境省の「燃料報告書」⁶⁾における実測値排出係数を採用した。同報告書ではインベントリや気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 採用値と比較する際の換算係数が示されているが、今回の計算はできるだけ国内の実態を反映させることも目的としていたことから、あえて生の実測値を使用したものである。

次に、燃料の採掘から輸送および設備建設段階における CO₂ 排出原単位であるが、基本的には日本エネルギー経済研究所の 1999 年の報告論文³⁾の計算方法に準じており、輸入量や輸入国構成比率を 2000 年度データに改めた上で再計算を行っている。ただし、LNG 液化段階の燃料消費に伴う排出 CO₂ の各液化製品への按分方法については LNG、LPG、重質分炭化水素の液化温度はそれぞれ -162℃、-42℃、常温と大きく異なっているため、対応策として、本調査では -42℃までとそれ以下の温度を区別し、それぞれの段階で発生 CO₂ を製品に按分することとした。この変更により、LNG 随伴ガスから生産される LPG への排出量加重が軽減する結果となった。

以上より求めた各燃料の採掘から消費に至る LCA 的温室効果ガス排出原単位を比較すると、LNG、都市ガス、LPG 間の格差はほとんどみられない。計算過程における誤差などを考慮すると、3 者は事実上同値とみなして構わない結果が得られた。したがって、燃料の環境特性を LCA 的観点から比較する場合は、LNG、都市ガス、LPG を大きくガス体燃料として括り、対電力、石油製品、石炭あるいは再生可能エネルギーを比較対象とすべきであろう。

続いて、各種エネルギー機器の環境特性についてであるが、前述の理由から、LNG、都市ガス、LPG は同一のガス体燃料として括り、LPG の温室効果ガス排出原単位で代表させた上で、ガス機器、電化機器、灯油機器の比較を中心に調査を行なった。ここでは、LCA 的に求めた燃料・エネルギーの温室効果ガス排出原単位を用いた。また、ピーク電力対応の観点から、商用電力は需要端における火力発電平均の温室効果ガス排出原単位を用いた。

その結果、ガス機器の環境特性は従来考えられてきたよりも、大幅に上方修正されることとなった。すなわち、同容量の業務用 GHP と EHP を比較した場合、GHP の温室効果ガス排出原単位は、EHP よりも冷房利用時で 3 割、暖房利用時で 2 割減少する計算結果が得られた。この傾向は機器容量が大きくなるほ強まることから、ホールや展示場など大空間を空調する際には、GHP がより有利となるものと予測される。また、ガスエンジンコージェネ機器や燃料電池 (PEFC) は排熱の徹底利用が図れば、その温室効果ガス排出原

単位は、火力発電平均の電力はもとより、全電源平均の温室効果ガス排出原単位よりも低くなる計算結果が得られた。

さらに、本調査では新たな試みとして、家庭用分野（戸建住宅、集合住宅）における用途別エネルギー必要量を想定した上で、様々にエネルギー機器を組合せたときの、環境特性（温室効果ガス排出量）の差異を比較した。

ここでも、ガスエンジンコージェネ機器および燃料電池（PEFC）の導入は、一般的な家庭における機器利用やオール電化住宅における場合よりも、温室効果ガス排出量を大幅に削減できることがわかった。

ただし、今回調査は純粋に環境特性（温室効果ガス排出量）だけに着目しており、利便性や経済性は全く考慮していない点を断っておく必要がある。環境面からオール電化住宅や電化したオフィスビルに対抗し、GHPやガスコージェネを中心としたガス機器の普及を図るためには、各種助成制度の整備充実が必要であろう。導入拡大に伴い、ガスコージェネ機器やGHPの機器効率やシステム操作性は大幅に改善されるものと期待される。

以上、本調査の結果により、以下の点が明らかとなった。

- ①LNG、都市ガス、LPGの温室効果ガス排出原単位は事実上同値とみなせる結果が得られた。したがって、LCA的観点から燃料の環境特性を比較する場合、LNG、都市ガス、LPGは同等とみなし、大きくガス体燃料として捉えることが可能である。
- ②業務用分野におけるGHP導入は単なる電力日負荷低減効果だけでなく、EHP利用時よりも温室効果ガス排出量を大幅に削減することが可能である。
- ③ガスエンジンコージェネ機器や燃料電池（PEFC）のような熱電併給方機器の導入は回収排熱の徹底利用を図れば、商用電力利用時よりも温室効果ガス排出量を大幅に削減することが可能である。

本調査結果は、電力や石油製品からLNG、都市ガス、LPGのガス体燃料への転換が、CO₂など温室効果ガス削減対策として極めて有効であること、ならびにガス体燃料およびその利用機器の適切かつ積極的な導入が望ましいことを国民に対して知らしめる上での有用なデータとなるものと期待される。

RITE 報告書基礎データ

1. 燃料・エネルギーの温室効果ガス排出原単位調査(LCAベース)

＜真発熱量ベース＞ (g-C/Mcal)

		石炭	石油	LNG	都市ガス	LPG	備考
RITE 報告	CO ₂ 排出原単位 (指数)	114.71 142.4	91.11 113.1	80.55 100.0	81.56 101.3	81.46 101.1	・十市レポートに準拠 ・燃焼時 CO ₂ 排出原単位は 環境省「燃料報告書」の採 用値 ・その他データは 2000 年 版に置換え
(参考) 1998 年 小川レポート	CO ₂ 排出原単位 (指数)	120.74 139.6	89.67 103.7	86.46 100.0	89.03 103.0	84.59 97.8	世界平均的な値
(参考) 1999 年 十市レポート	CO ₂ 排出原単位 (指数)	112.90 145.6	89.92 116.0	77.52 100.0	—	83.04 107.1	国内輸入分の値

2. 調理機器の環境特性 (g-C/Mcal)

	機器効率	CO ₂ 排出原単位
ガスコンロ (卓上型)	50.0%	162.9
グリル付ガスコンロ (卓上型・バーナー口数 2 口以下)	56.3%	144.7
IH ヒーター (据置型) 3kW (5.4Mcal/h)	90.0%	270.6

3. 給湯機器の環境特性 (g-C/Mcal)

	機器効率	CO ₂ 排出原単位
ガス瞬間湯沸器 (自然燃焼、開放式)	81.2%	100.3
石油給湯器 (瞬間型)	85.0%	106.3
石油給湯器 (貯湯式、急速加熱式)	86.8%	104.1
ヒーター式電気温水器 (Eヒーター)	62.0%	392.8

4. 業務用空調機器の環境特性 (g-C/Mcal)

		冷房利用時		暖房利用時	
		機器 効率	CO ₂ 排出原単位	機器 効率	CO ₂ 排出原単位
EHP	28.0kW 型 (三洋)	2.46	99.0	2.97	82.0
	56.0kW 型 (ダikin)	2.63	92.6	3.21	75.9
GHP	28.0kW 型 (三洋)	1.26	70.0	1.33	65.8
	56.0kW 型 (ダikin)	1.25	69.3	1.41	61.5

5. エネルギー機器の組合せによる CO₂排出量 (kg-C/年/世帯)

	厨房用	給湯用	暖房用	冷房用	動力他	合計
一般ケース (ガス厨房・給湯、灯 油暖房、電気エアコン冷房等)	96.9	383.0	809.4	121.2	1,443.8	2,854.3
オール電化 (IH 厨房、電気ヒーター 給湯、電気エアコン冷房等)	177.0	1,496.1	331.2	121.2	1,443.8	3,569.3
ガスエンジンコージェネ機器を 中心としたガス機器利用	96.9	360.8	331.2	121.2	1,192.2	2,101.3
燃料電池を中心としたガス機器 利用	96.9	368.3	331.2	121.2	884.4	1,802.0

前提 各種燃料・エネルギーの温室効果ガス排出原単位調査

燃料・エネルギー種別の温室効果ガス排出量を検討する場合、燃料消費に伴う排出量を比較するだけでは不十分であり、生産・輸送等の各段階における排出量も加味した上で検討する必要がある。この生産から消費に至るライフサイクル的な温室効果ガス排出に関する報告は多数行われているが、計算の基礎となるデータの取り扱いについても詳しく説明されたものとしては、電力中央研究所¹⁾や石油産業活性化センター²⁾、日本エネルギー経済研究所^{3) 4)}等の論文が挙げられる。このうち、1998年および1999年に報告された日本エネルギー経済研究所の2論文はLPGを始め、各種燃料についての記載にも詳しいことから、民生部門におけるエネルギー消費を検討する際に利用されることが多い。両文献の違いは、前者は「可能な限り世界平均的な値」を示したものであるのに対して、後者は「国内輸入分の値」を示した点であり、どちらが正しいというものではなく、その目的に応じて使い分けられている。

今回調査は国内を対象とすることや最新のデータをベースにすることから、主に、後者の文献を参考とし、必要に応じて他の文献を用いることにより、各種燃料・エネルギーの温室効果ガス排出原単位を求めるものとした。

表 1-1 燃料・エネルギー種別発熱量⁵⁾より作成

燃料・エネルギー	発熱量	
	(2000年度)	(1997年度)
石炭		
原料炭(国内)	7,700 [kcal/kg]	7,700 [kcal/kg]
原料炭(輸入)	6,904 [kcal/kg]	7,600 [kcal/kg]
一般炭(国内)	5,375 [kcal/kg]	5,800 [kcal/kg]
一般炭(輸入)	6,354 [kcal/kg]	6,200 [kcal/kg]
無煙炭(国内)	4,300 [kcal/kg]	4,300 [kcal/kg]
無煙炭(輸入)	6,498 [kcal/kg]	6,500 [kcal/kg]
亜炭	4,109 [kcal/kg]	4,100 [kcal/kg]
コークス	7,191 [kcal/kg]	7,200 [kcal/kg]
コークス炉ガス	5,401 [kcal/kg]	4,800 [kcal/kg]
高炉ガス	800 [kcal/kg]	800 [kcal/kg]
転炉ガス	2,009 [kcal/kg]	2,000 [kcal/kg]
練豆炭	5,709 [kcal/kg]	5,700 [kcal/kg]
石油		
原油	9,126 [kcal/l]	9,250 [kcal/l]
NGL	8,433 [kcal/l]	8,100 [kcal/l]
ガソリン	8,266 [kcal/l]	8,400 [kcal/l]
ナフサ	8,146 [kcal/l]	8,000 [kcal/l]
ジェット油	8,767 [kcal/l]	8,700 [kcal/l]
灯油	8,767 [kcal/l]	8,900 [kcal/l]
軽油	9,126 [kcal/l]	9,200 [kcal/l]
A重油	9,341 [kcal/l]	9,300 [kcal/l]
B重油	9,651 [kcal/l]	9,600 [kcal/l]
C重油	9,962 [kcal/l]	9,800 [kcal/l]
潤滑油	9,603 [kcal/l]	9,600 [kcal/l]
その他石油製品	10,105 [kcal/kg]	10,100 [kcal/kg]
製油所ガス	10,726 [kcal/m ³]	9,400 [kcal/m ³]
オイルコークス	08,504 [kcal/kg]	08,500 [kcal/kg]
LPG	11,992 [kcal/kg]	12,000 [kcal/kg]
天然ガス		
国産天然ガス	9,771 [kcal/m ³]	9,800 [kcal/m ³]
輸入天然ガス(LNG)	13,019 [kcal/kg]	13,000 [kcal/kg]
炭坑抜きガス	8,600 [kcal/m ³]	8,600 [kcal/m ³]
都市ガス	9,818 [kcal/m ³]	10,000 [kcal/m ³]
電力	2,150 [kcal/kWh]	2,250 [kcal/kWh]

表 1-2 総発熱量から真発熱量への換算係数³⁾

	石炭	石油	LNG	LPG
換算係数	0.96	0.93	0.90	0.92

表 1-3 燃料・エネルギー種別 CO₂ 排出原単位⁶⁾より作成

(単位:[g-C/Mcal])

燃料・エネルギー	燃料報告書 採用値	インベントリ 採用値	Revised 1996 IPCC Guidelines 3 Default
石炭	102.7	103.9	106.2
原料炭(輸入)	103.3	99.0	102.7
一般炭(輸入)	100.5	103.4	102.7
練豆炭	102.7	115.3	102.8
コークス	123.3	123.3	117.6
コークス炉ガス	46.0	46.0	51.7
高炉ガス	123.3	—	262.5
転炉ガス	123.3	—	—
石油			
原油	78.9	78.1	79.6
NGL	77.6	77.6	68.5
ガソリン	78.5	76.6	75.1
ナフサ	74.4	76.0	79.6
ジェット油	76.5	76.5	77.6
灯油	78.2	77.5	78.0
軽油	79.0	78.4	80.4
A 重油	81.7	79.1	83.9
B 重油	82.2	82.2	83.9
C 重油	81.7	81.7	83.9
潤滑油	82.2	79.9	79.9
石油製品	76.0	76.0	87.9
製油所ガス	61.3	59.3	—
オイルコークス	106.2	106.2	109.6
LPG	66.9	68.4	68.4
天然ガス			
国産天然ガス	58.2	56.4	57.7
LNG(輸入)	58.6	56.4	57.7
都市ガス	58.6	55.1	—

表 1-4 商用電力の CO₂ 排出原単位⁷⁾⁸⁾より作成

H12 年度	発電端		送電端		需要端	
	発電電力量 [億 kWh]	排出原単位 [g-C/kWh]	所内率 [%]	排出原単位 [g-C/kWh]	送電ロス [%]	排出原単位 [g-C/kWh]
全平均	9,160	92.6	3.5	95.9	5.2	101.2
火力平均	5,121	165.6	4.7	173.8	5.2	183.3

参 考 文 献

- 1) 本藤祐樹ほか：「ライフサイクル CO2 排出量による発電技術の評価 - 最新データによる再推計と前提条件の違いによる影響 -」、電力中央研究所研究報告書 Y99009 (2000)
- 2) (財) 石油産業活性化センター：「石油・LNG・石炭のライフサイクルインベントリー (LCI) の比較について」(平成 11 年度調査事業成果発表会)、石油産業活性化センター Web サイト (<http://www.pecj.or.jp/chosa-report/report-pdf/99cho4.pdf>)
- 03) 尹性二ほか：「わが国における化石エネルギーに関するライフサイクルインベントリー」、エネルギー経済、第 25 巻、第 5 号、30-55 (1999)
- 04) 小川ほか：「採掘から燃焼までグローバルにみた各化石エネルギー源の温室効果の比較」、エネルギー経済、第 24 巻、第 5 号 (1998)

- 05) (財) 日本エネルギー経済研究所編：EDMC/エネルギー・経済統計便覧 (2002 年度版)、(財) 省エネルギーセンター発行 (2002)
- 6) 環境省：「燃料報告書」(環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会資料)、平成 12 年
- 7) 電気事業連合会 Web サイト (<http://www.fepc.or.jp/>)
- 8) 経済産業省：「電力需給統計」(2001)
- 9) 経済産業省「12 年度エネルギー生産・需給統計年報」
- 10) 資源・エネルギー庁：「総合資源エネルギー調査会 省エネルギー基準部会 ガス・石油機器判断基準小委員会 中間取りまとめ」(平成 13 年 11 月)
- 11) 東芝：Web サイト (http://www.toshiba.co.jp/webcata/builtin/bhp_m46j.htm)
- 12) 大阪ガス・ヤンマーディーゼル：製品パンフレット「ローコストパッケージ型マイクログジェネ (ガスエンジン) CP22V」
- 13) アイシン精機：製品パンフレット「ジェネライト GECC60A1N」
- 14) 三洋電機：ニュースリリース「家庭用 1kW 級固体高分子形燃料電池 (PEFC) コージェネレーションシステム」、Web サイト (<http://www.sanyo.co.jp/koho>)
- 15) 省エネルギーセンター：「省エネ性能カタログ家庭用 2002 年夏」、Web サイト (<http://www.eccj.or.jp>)
- 16) 三洋電機：業務用空調機カタログ、Web サイト (<http://www.sanyo.co.jp/kuucho/>)
- 17) ダイキン工業：カタログ、Web サイト (<http://www.daikinaircon.com/catalog/>)
- 18) 大阪ガス：「ガスヒーポン総合カタログ」(2002)
- 19) 岩船：「暮らしの中のエネルギー 環境にやさしい選択」、電気学会 (2001)
- 20) 美濃電工社：Web サイト (<http://www.minoden.co.jp>)