

Paris協定達成に向けた 2050年Zero Emission Scenario その5 エネルギー需給部門別検討

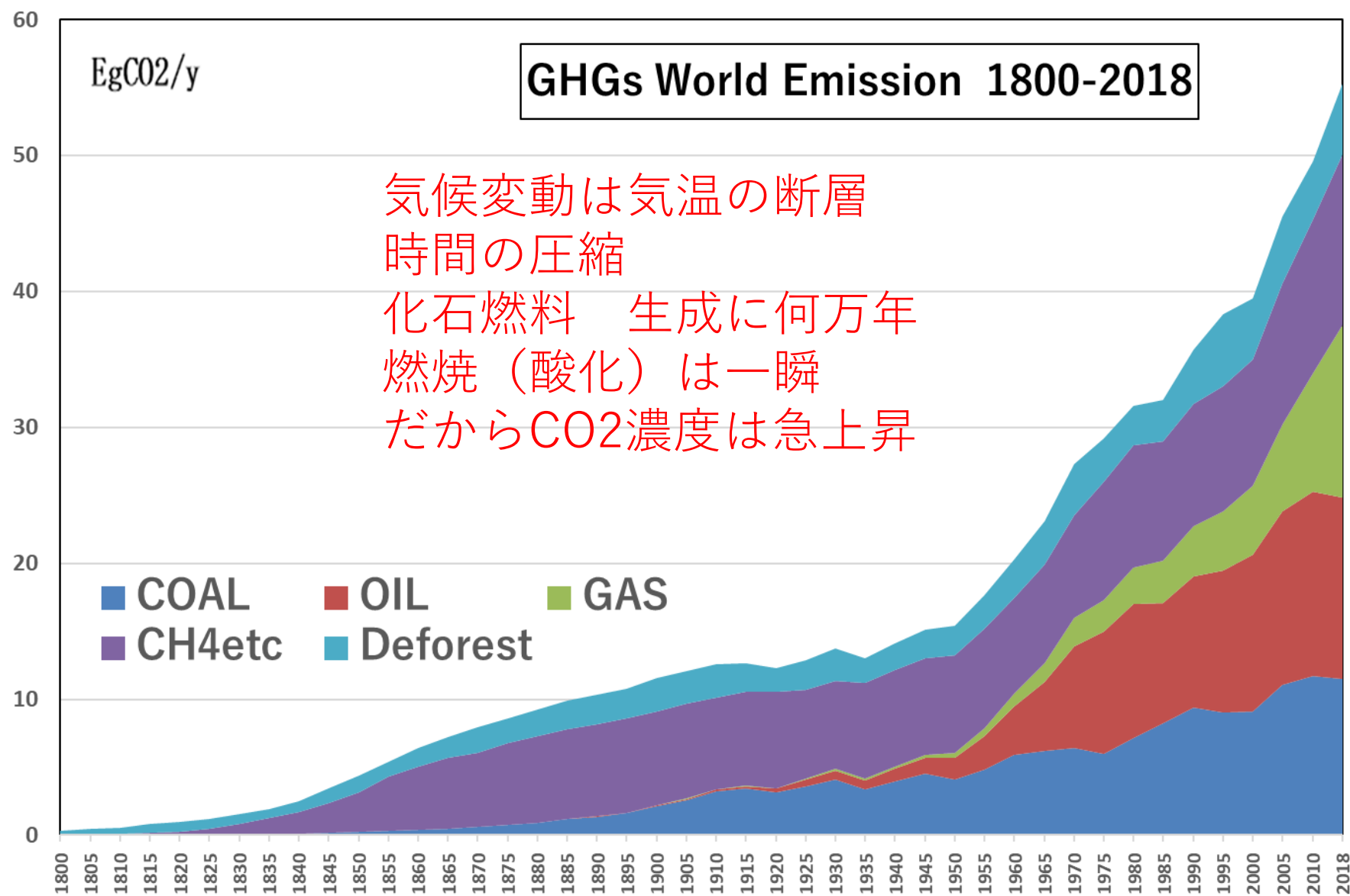
Zero Emission Scenario in 2050 towards Paris Target
Part5 Discussion by Energy Demand Sector

外 岡 豊

Yutaka TONOOKA

埼玉大学 名誉教授
早稲田大学招聘研究員
エコステージ協会 理事
低炭素社会推進会議 幹事

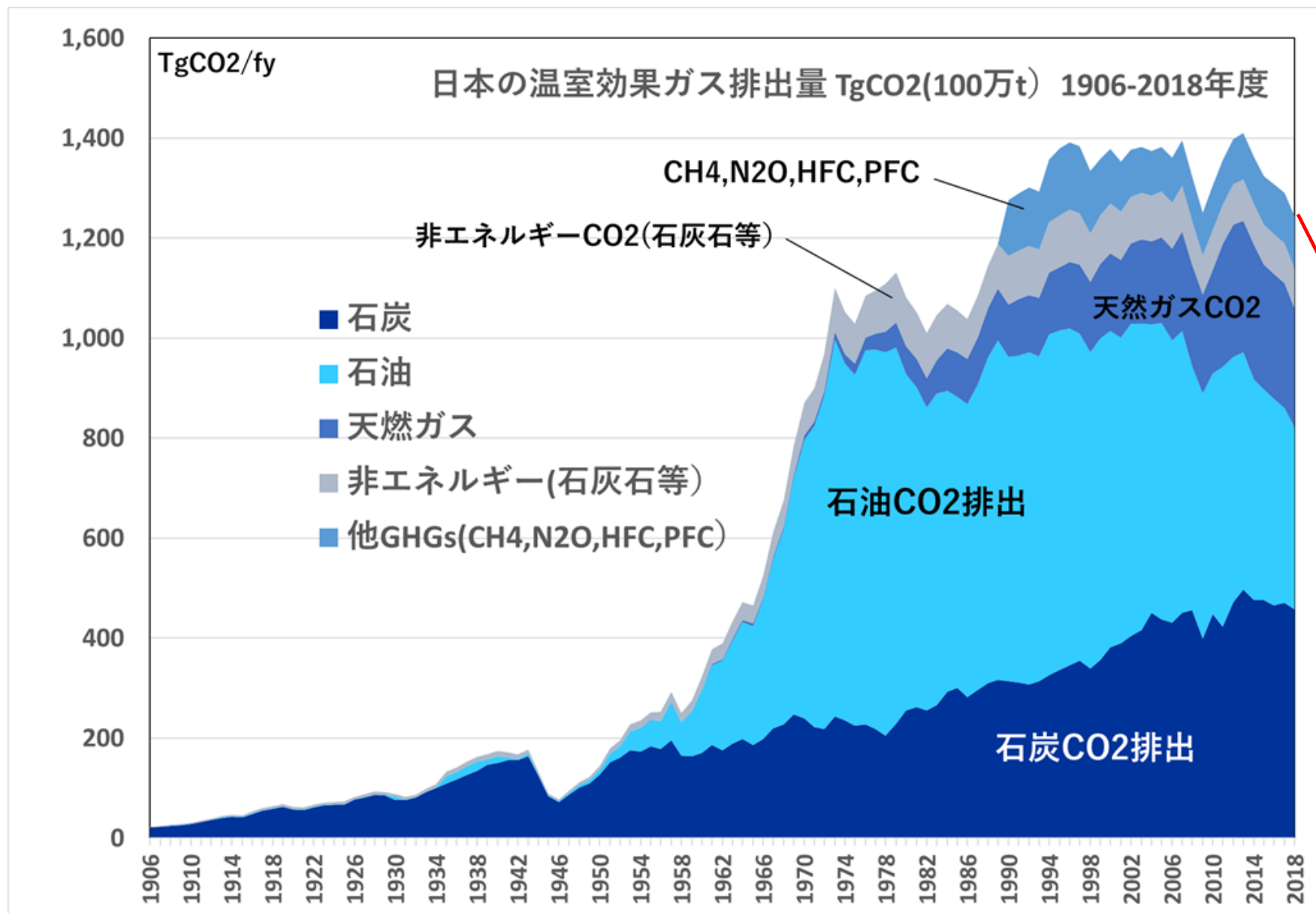
温室効果ガス排出量 世界計 1800-2010-2018 5年平均



2050
排出
ゼロに
近づける

Y.TONOOKA

温室効果ガス排出量 1906-2018



2050
排出
ゼロに
近づける

Greta Tunbroug: a yang generation claimer on Climate Crisis

グレタ・トンベリ国連演説の厳しい質問 “How dare you?”

経済成長優先で気候変動対策行動を起こさない各国首脳を糾弾

彼女はスエーデンの女子高校生で、金曜日に登校スト、大人たちに

『この深刻な気候変動解決にすぐに行動を起こせ』と迫る活動を開始それが世界中に広まって若い世代が気候変動に関心と行動開始

..
同じ質問を自分達に向けてみる

CO2排出量を減らさないとパリ目標は達成できない

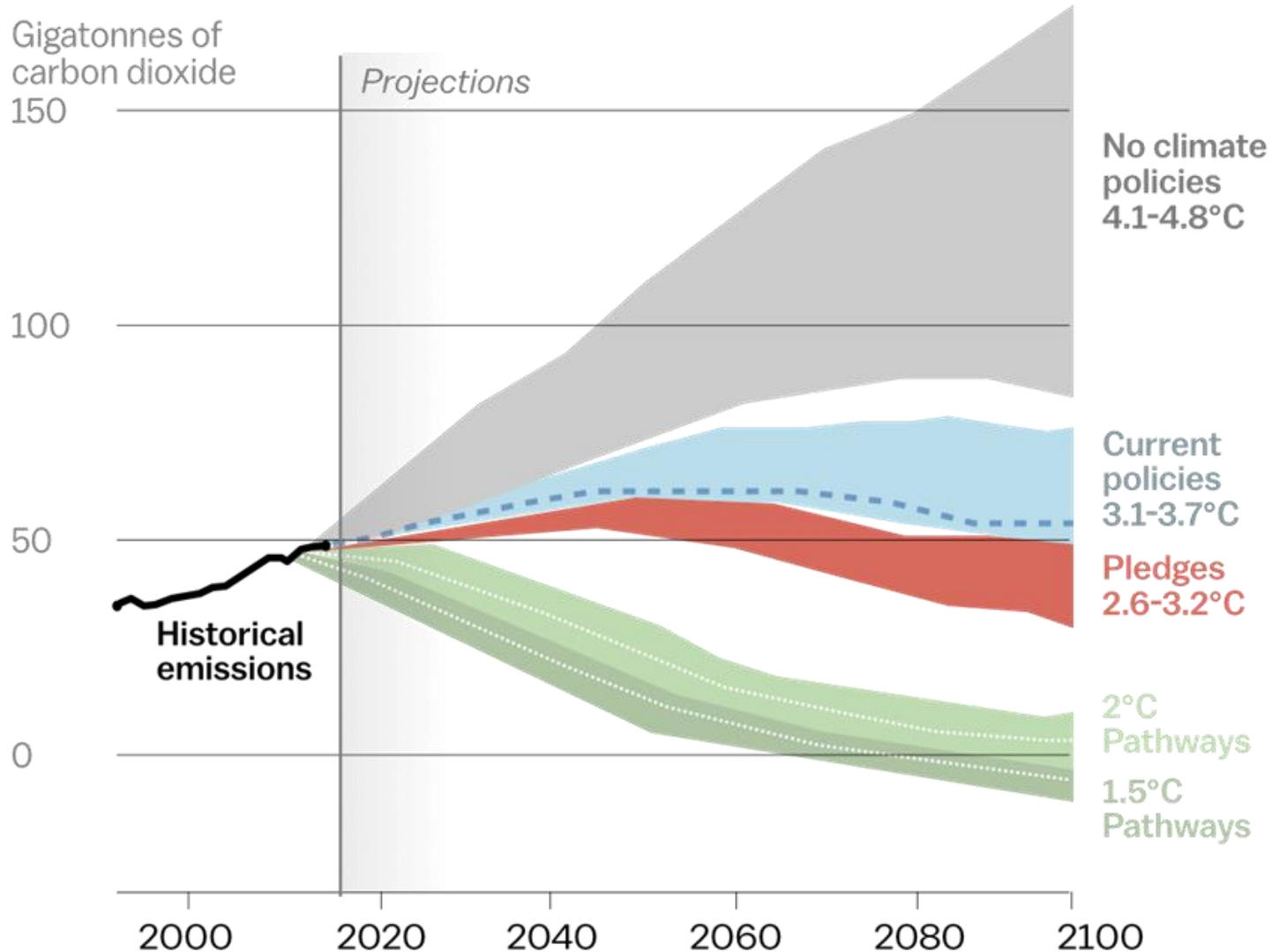
漫然と排出を続けていてよいのか？

例：建築家、建設業者

RC鉄筋コンクリート建築を当然のように建設 セメント削減頭になし

Effect of current pledges and policies

Global greenhouse gas emissions



Carbon Budget

地球気温上昇1.5°C以内
世界累積GHGs排出量
残8.5年分だけ
= 2030年までに
排出ゼロ必須

2020年以降の総許容排出量
= 右下 
面積は2015年現況の8.5年分だけ

Zero Emission Scenario

Paris協定合意努力目標1.5°C以内の達成へ GHGs世界計純排出量を2060～2080年頃までに **Net Zero Emissionにしないと実現困難**

土木建築分野：都市構成素材、**セメントと鉄鋼の生産排出大**

とくにコンクリート：セメント原料石灰石CO₂排出あり

世界セメント生産40億トン（うち半分は中国）、CO₂排出35億トン

これから人口が増える途上国での巨大都市建設

建物、インフラ(都市基盤施設)

都市素材の需要増大 建築用、土木用とも

→（今のままの都市素材なら）削減は困難→Paris協定達成不可能

コンクリートを使う限りParis協定達成は不可能

セメント(ポルトランドクリンカ)焼成

CaCO_3 加熱 $1500^\circ\text{C} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$ 大気放出

焼成加熱用の燃料排出をゼロにしても石灰石起源の CO_2 排出あり

しかし日本のスラグセメント消費量は増えていない・現実

シリカ代替セメントはできるか？ 火山灰セメント等

→ケイ素系高強度セメント代替品 開発せよ 大量供給できるか

日本の伝統技術を活かせ

東大寺大仏殿：巨大木造建築基礎 凝固粘土と砂層の積層地盤で支持

イエメン・シバーム世界遺産 泥煉瓦壁体構造：古来8階建て建築可能

建築構造物と建物基礎は脱セメント可能

イタリア土木構築物：火山灰古代セメント1000年寿命実績

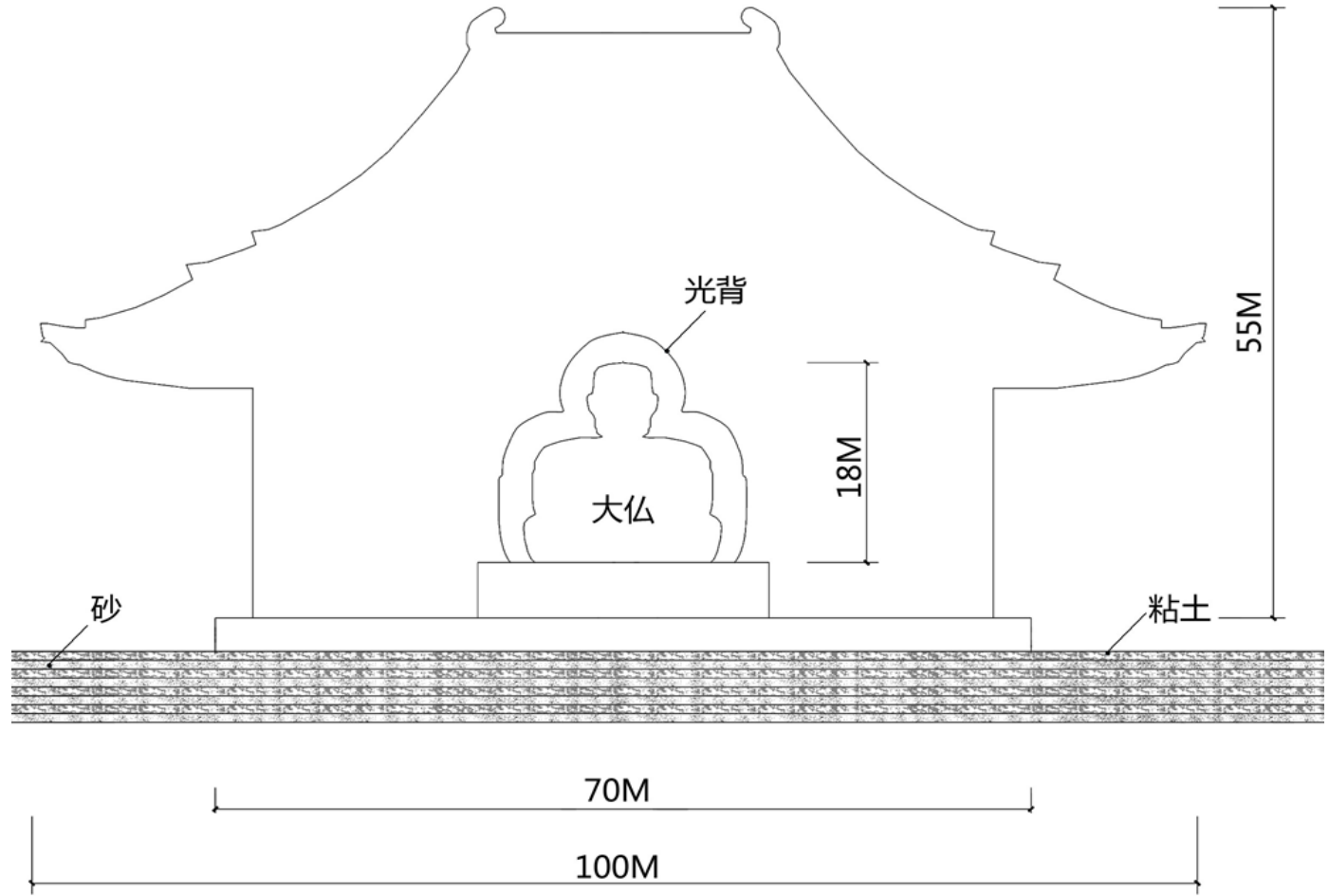
セメントなし大規模建築例:京都大仏殿

基礎は版築

各地・築城も 版築基礎



砂と粘土の積層



京都大仏 高18m 東西70m・南北60m・棟高55m 基礎は版築
奈良大仏 高14.7m 基壇 台座周囲70m(直径17.5m)より推計
奈良大仏殿 創建時 東西57.5m・南北50.5m・棟高49.1m

中国 伝統建築の壁 セメントなし



万里の長城は石材がない地域は焼成煉瓦で建設
大型焼成炉・木質バイオ燃料大量使用



上海と杭州の中間、烏鎮にて 撮影

一方、日本では都市基盤施設Infrastructureの老朽化 従来通りの方法ならコンクリート大量使用で更新・再構築

さらに（気候変動影響）台風,豪雨,高潮、
（高確率予知）大地震,津波と（富士山他）火山噴火、
災害復興にも従来通りの方法ならコンクリート大量使用で更新・再構築
東日本大震災復興工事で2011~2017年度 増分概算延2千万tセメント消費
ここ数年の台風等被害でも復旧工事にコンクリート→セメント消費
南太平洋から日本近海の海水温度上昇不可避→大型台風毎年再来
これからも被害頻発→コンクリート→セメント消費
（なのにオリ・パラ誘致で追加的な消費をしてしまった）

リニア新幹線は着工済 もう止められない？

→**脱セメント・この問題に真摯に向き合う他ない**

R C, S R C再考 再生セメントの技術開発？

少セメント技術：既往例プレキャストコンクリート,炭素繊維利用等

日本の鉄鋼業CO2排出：国内削減より海外期待

日本の鉄鋼業 1 億t生産体制と世界最高水準省エネ低CO2達成長期維持
しかし成長と技術革新ともに超成熟・今後の展望は？

海外製鉄所買収に活路

JFE2009年インドJSWと提携 粗鋼生産能力1800万t

日本製鉄インド,エッサールを買収 1000万t 海外事業展開

海外製鉄所に日本の省エネ低CO2排出技術輸出・移転で削減効果大

累計62.59TgCO2 2017年度断面 鉄鋼連盟集計

海外製鉄所削減 2020年に70Tg 2030年までに80Tg

海外技術移転削減評価COP25で協議 まとまらず

環境NPOは先進国削減回避につながるかと警戒

京都議定書当時から Additionality問題

製鉄 不可避CO2排出

鉄鋼ドロマイト(石灰石成分)CO2排出 5.5TgCO2/年度 2017

電気炉・電極損耗 169GgCO2/年度 2017 大きくはない

ともに不可避

→ CCU処理でZero.Emission化

CO2 CH4 サイクル CCU期待？

ルテニウム・セリウム酸化物固体触媒 常温から100度台低温で

CO2からCH4,CO生成 早稲田 関根泰研究室

<https://www.waseda.jp/top/news/68106>

HHOガス酸水素ガス エネコ社 画期的 製法・実用化成功 電気分解によらない製法：完全にCO2排出ゼロ燃料



実験装置 単純
水に自然石 HHOガス発生
トヨタ、三井商船 他 実走行実験中
富士吉田にガスタンク建設



H₂ %を調整できる新システム開発 実用化

酸水素ガス：期待大

酸水素ガス：水→水素と酸素のイオン状混合ガスに分解



酸水素ガスの生成 電気分解によらない方法あり

On.site製造 (高圧)貯蔵不要 電力需給調整・補助電源

水素より安全 燃焼,貯蔵とも安全 水クラスターにより防爆

水さえあればどこでも発電 防災電源として利点大

海水から水素製造可能 水質不問 船舶燃料航行中海上採取

単価 30円/m³以下 ガソリン換算概算 100円以下/リットル

自動車、船舶 ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンとも使用可能

実走行試験中

水素自動車、燃料電池発電電気自動車にも使用可能

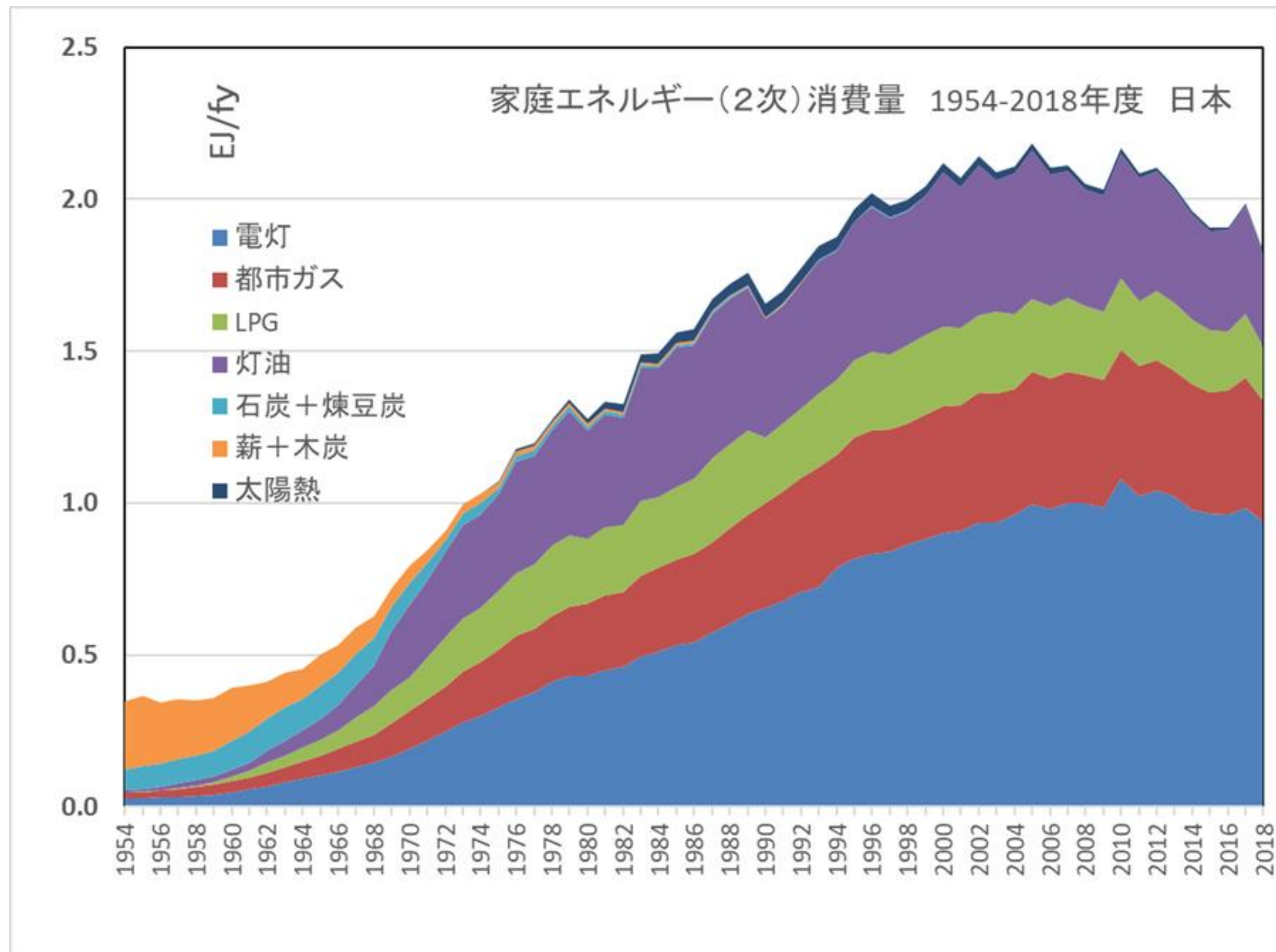
金属に火炎噴射すると超高温融解 タングステン融解 融点3380℃

溶断すでに実用化 →金属融解への応用期待 →高温加熱応用可能

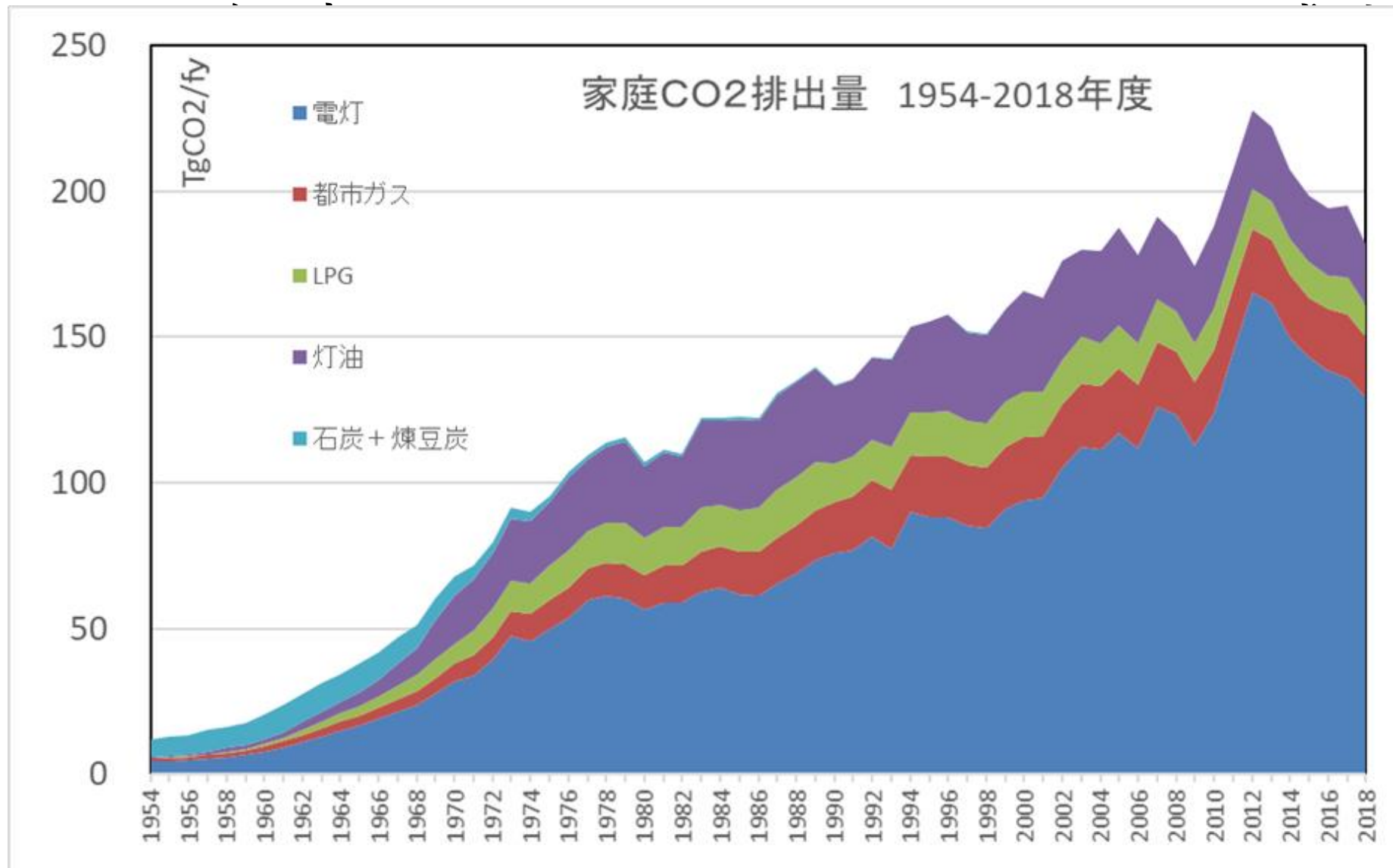
家庭部門のエネ消費

2010年度最大値2,151PJ
2018年度1,822PJ
15%減少

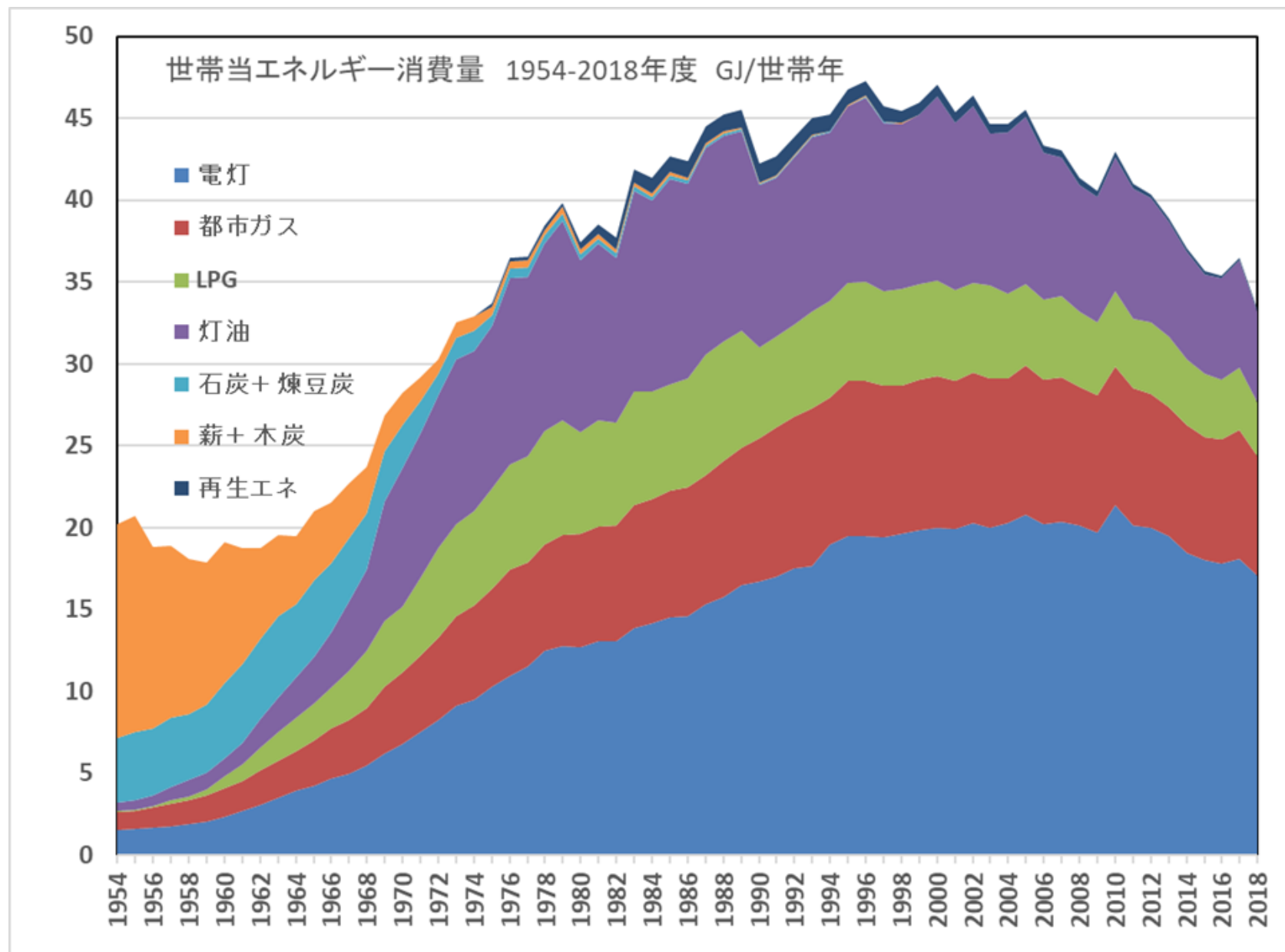
高度成長期以前は薪、
木炭も多かった



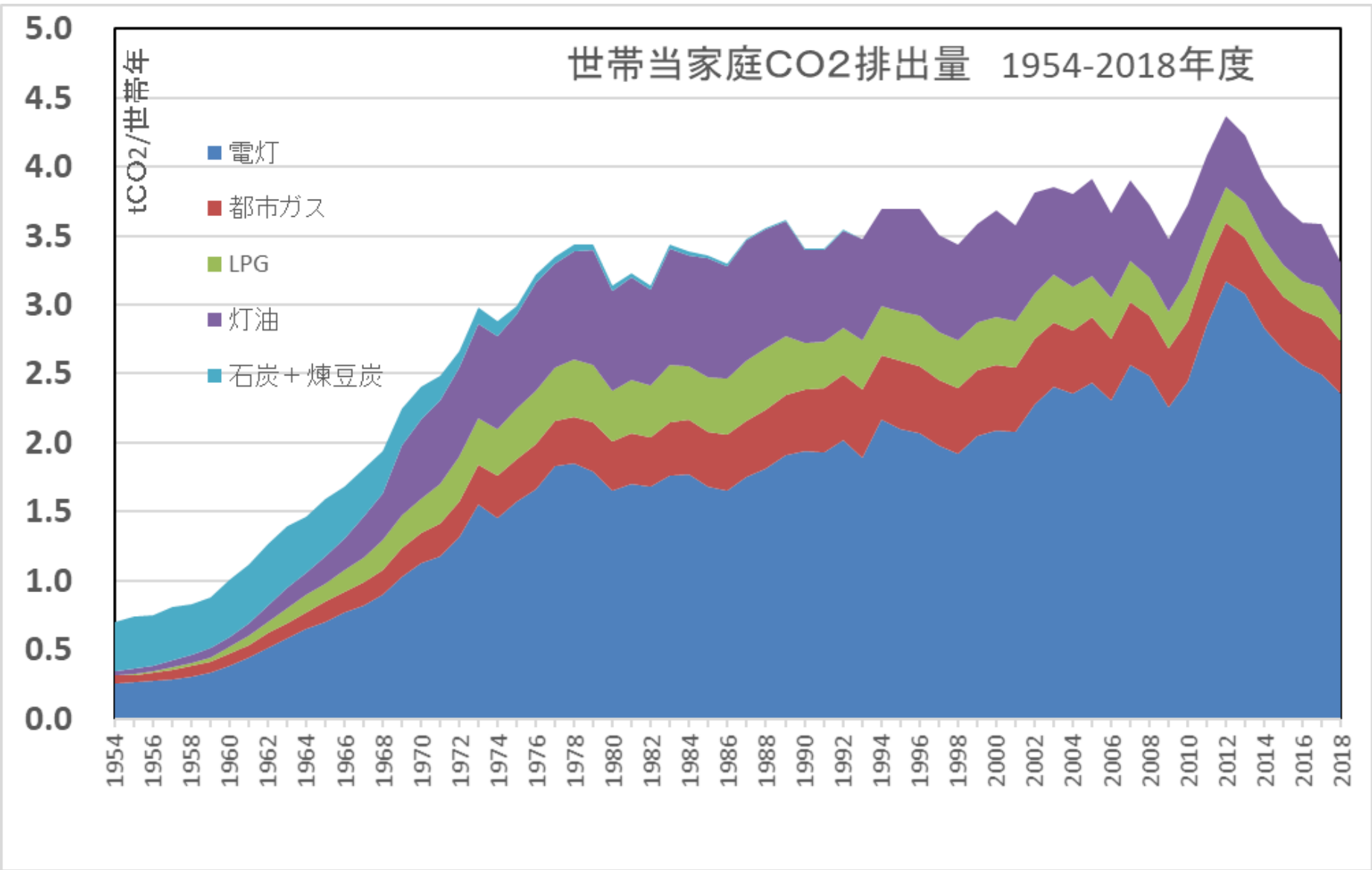
家庭部門CO2排出2012年度 最大値 228TgCO2



世帯当エネルギー消費量 1996年度最大46.37GJ/世帯年度

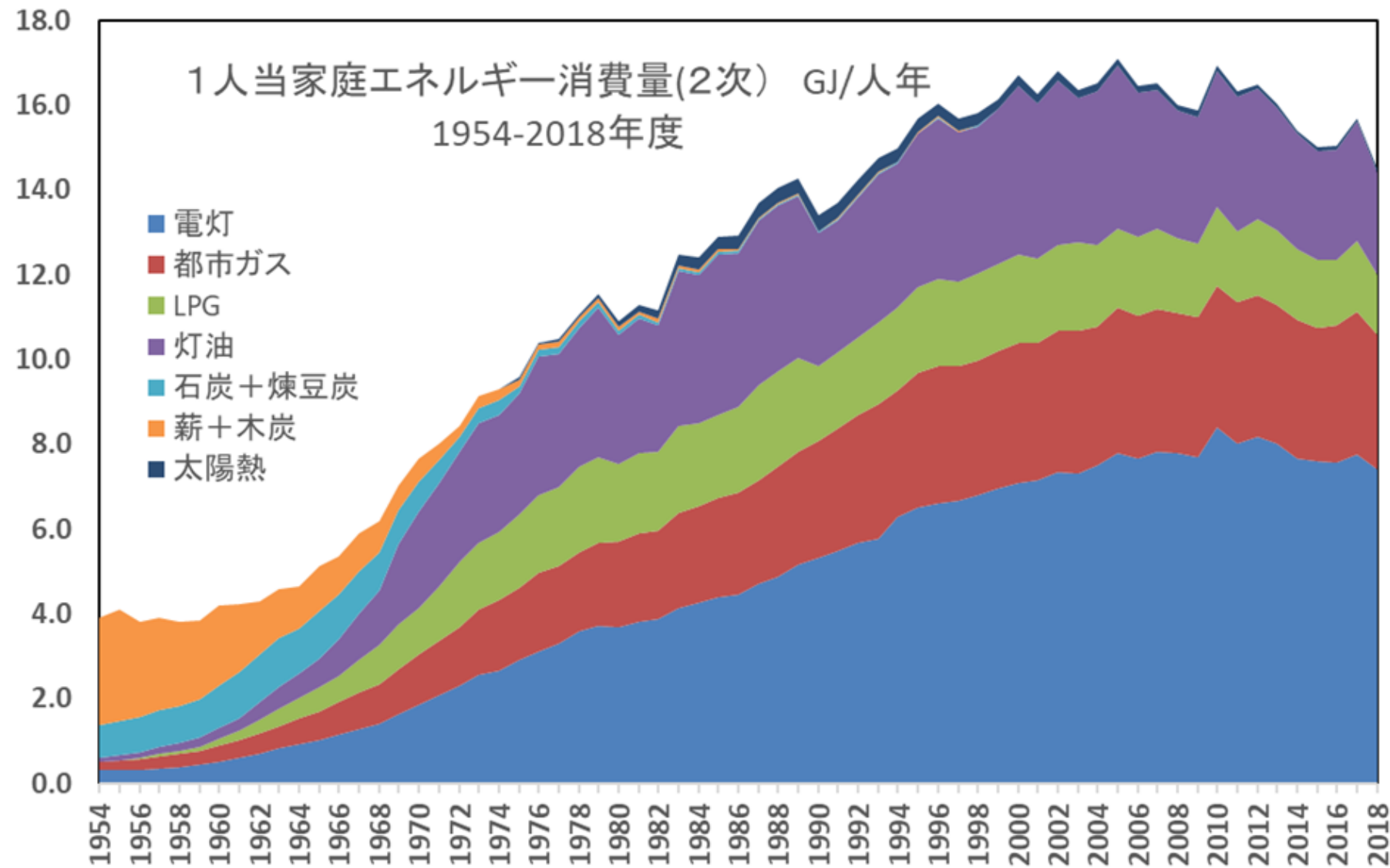


世帯当CO2排出量 2012年度最大4.37tCO2/世帯年度



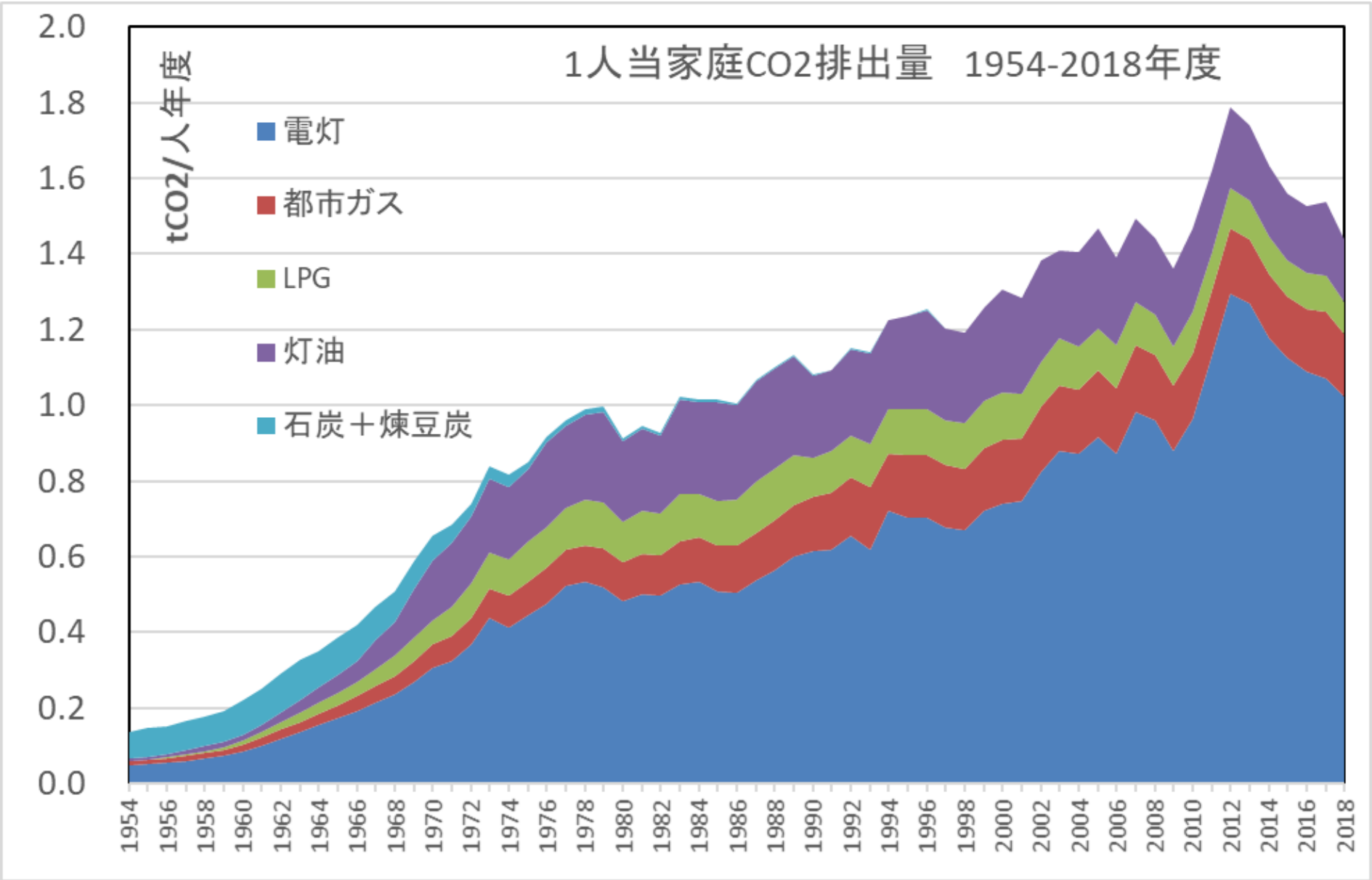
2018年度
3.31 tCO2/世帯年度
24%減少

1人当エネルギー消費量 2005年度最大16.92GJ/人年度



2018年度
14.41 GJ/人年度
15%減少

1人当CO2排出量2012年度最大1.79tCO2/人年度



2018年度
1.44 tCO2/人年度
20%減少

家庭エネ消費量構成 2017年度:北海道,寒冷地 灯油消費大
これを木質バイオマスに代替転換・排出削減できる
地産地消がよいが・・・大気汚染とBC排出問題

2017年度

	暖房用	冷房用	給湯用	厨房用	動力他	合計
電力	6.0%	2.3%	4.9%	2.7%	32.7%	48.6%
都市ガス	3.3%	0.0%	13.2%	3.4%	0.0%	19.9%
LPG	1.4%	0.0%	5.9%	3.2%	0.0%	10.5%
灯油	16.5%	0.0%	4.0%	0.0%	0.0%	20.5%
石炭等	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
太陽熱	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.4%
合計	27.3%	2.3%	28.4%	9.3%	32.7%	100.0%

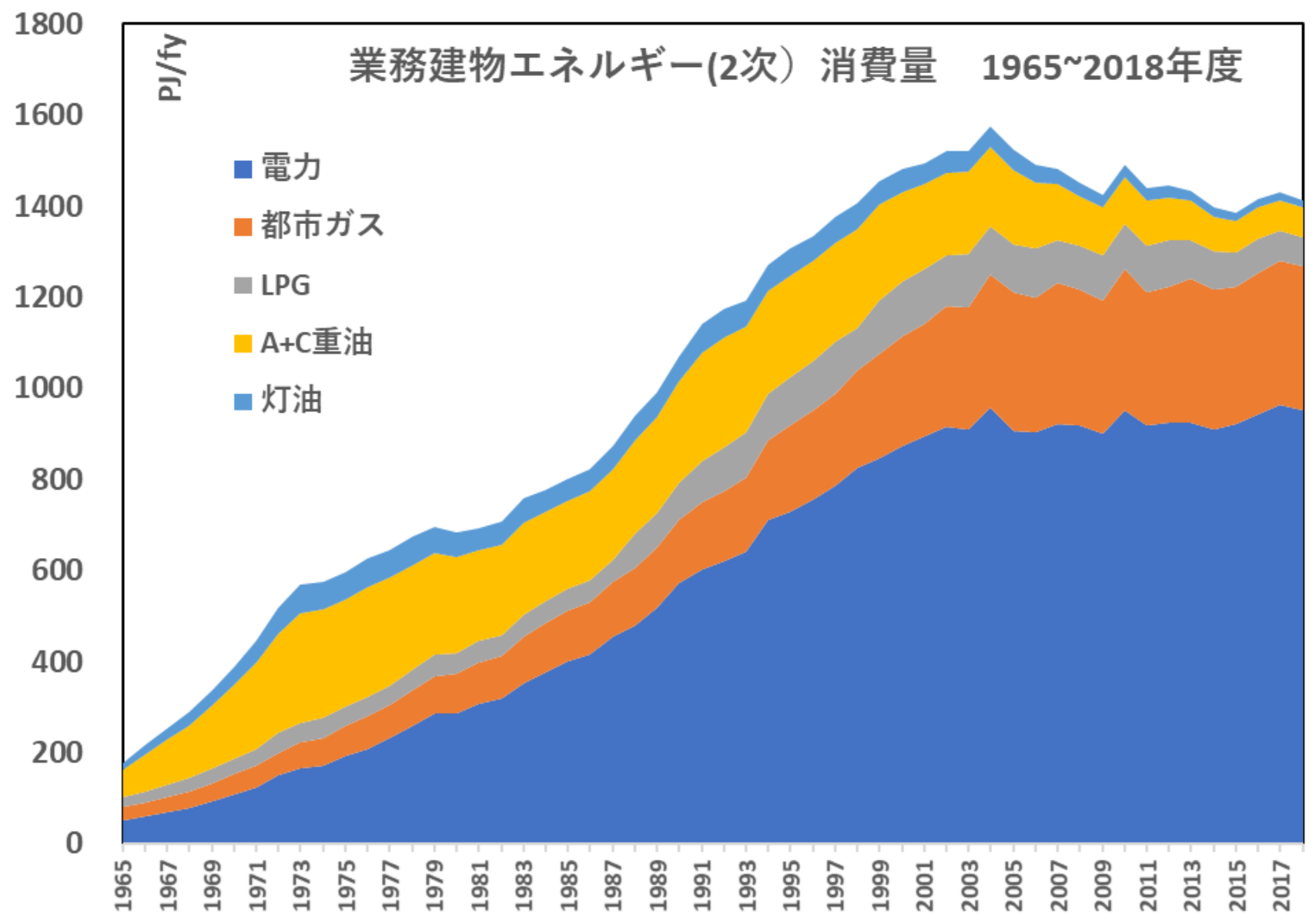
	暖房用	冷房用	給湯用	厨房用	動力他	合計
電力	1.3%	0.9%	0.7%	1.1%	20.9%	25.0%
都市ガス	3.0%	0.0%	10.3%	2.8%	0.0%	16.1%
LPG	0.5%	0.0%	6.0%	8.1%	0.0%	14.7%
灯油	26.6%	0.0%	4.4%	0.2%	0.0%	31.2%
石炭等	6.8%	0.0%	5.1%	1.2%	0.0%	13.1%
太陽熱	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
合計	38.2%	0.9%	26.6%	13.5%	20.9%	100.0%

暖房・灯油
1970年度より
減ってはいるが
全国平均に
大きく影響
するほど多い

家庭部門のエネ消費とCO2排出

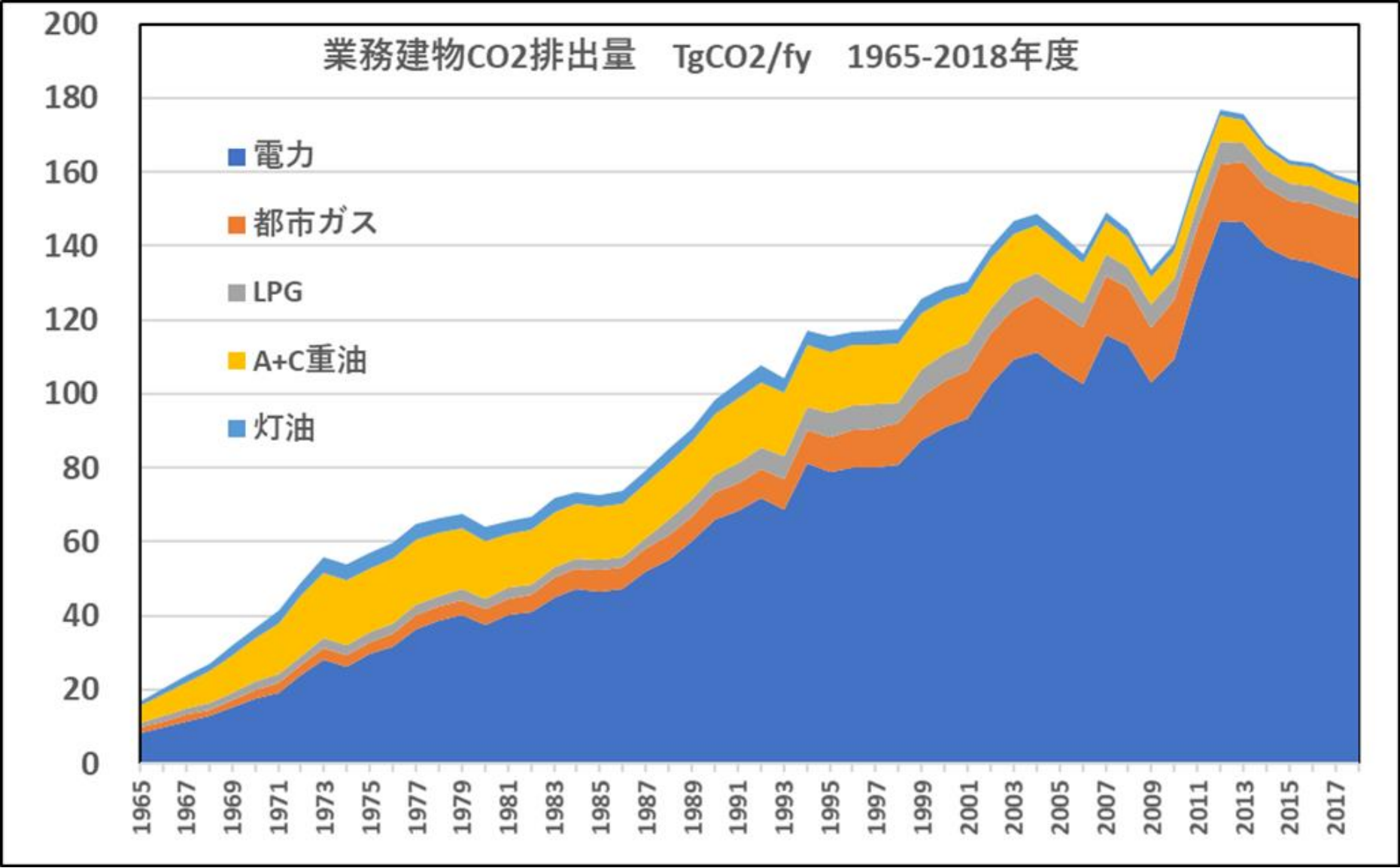
1950年代からの長期動向分析により2050年までを見通す
1990年代から変化の兆し 2000~2010年代 ようやく削減傾向顕著
Paris協定目標達成への入り口が見えて来たか
環境クズネッツ曲線傾向が確認される
今後、加速度的な省エネ、排出削減が実現される
しかし 家電の電力消費は依然として多い
寒冷地の灯油消費も依然として多い
家庭内の木質バイオマス燃焼(ペレット,薪ストーブ) はPM2.5問題
近隣大気汚染影響も考慮すべし(欧州の風潮)

業務建物のエネルギー消費量 2004年度最大値1,576PJ



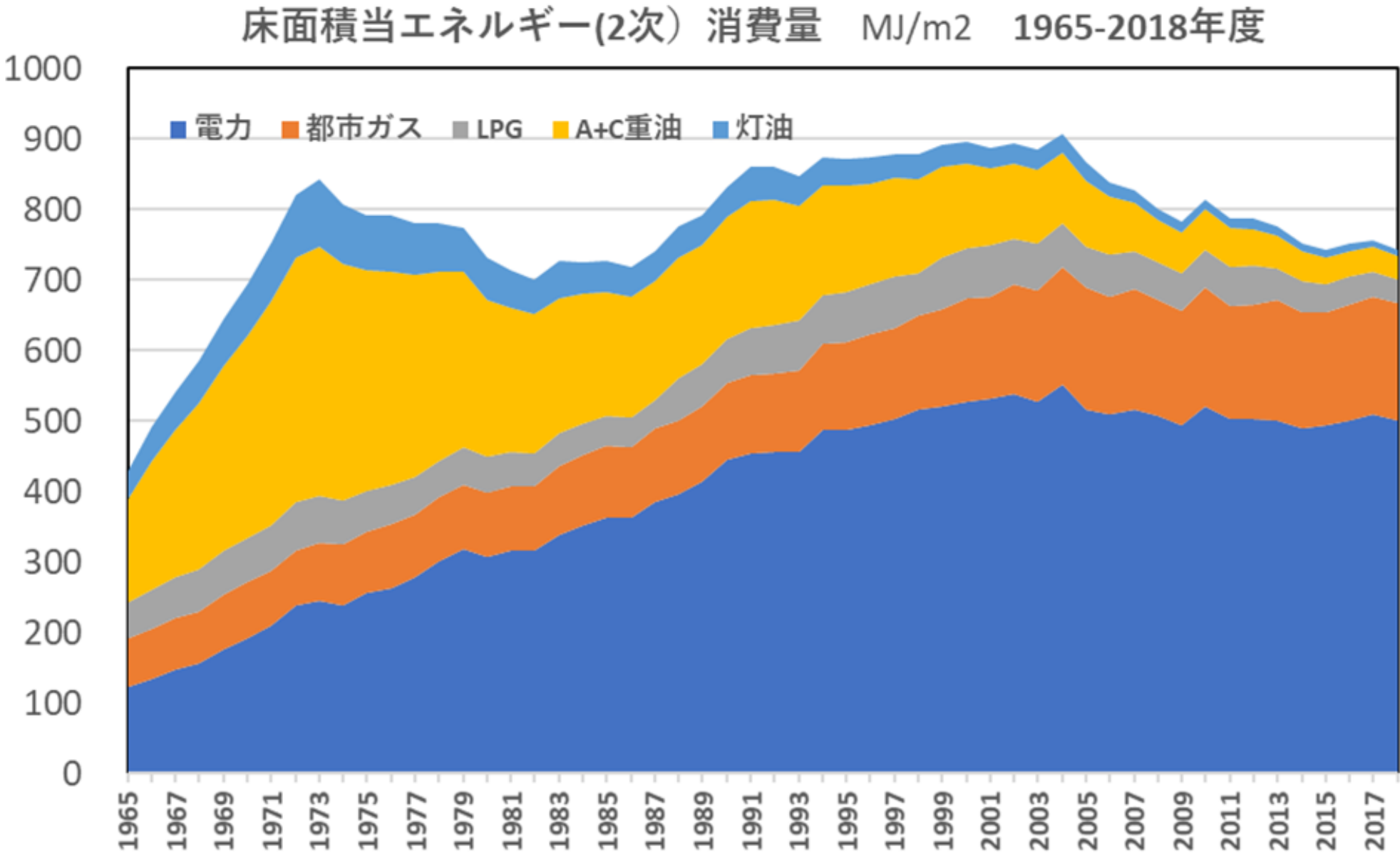
2018年度
1,413PJ
10%減少

業務建物CO2排出量 2012年度 最大値 177tgCO2/年度



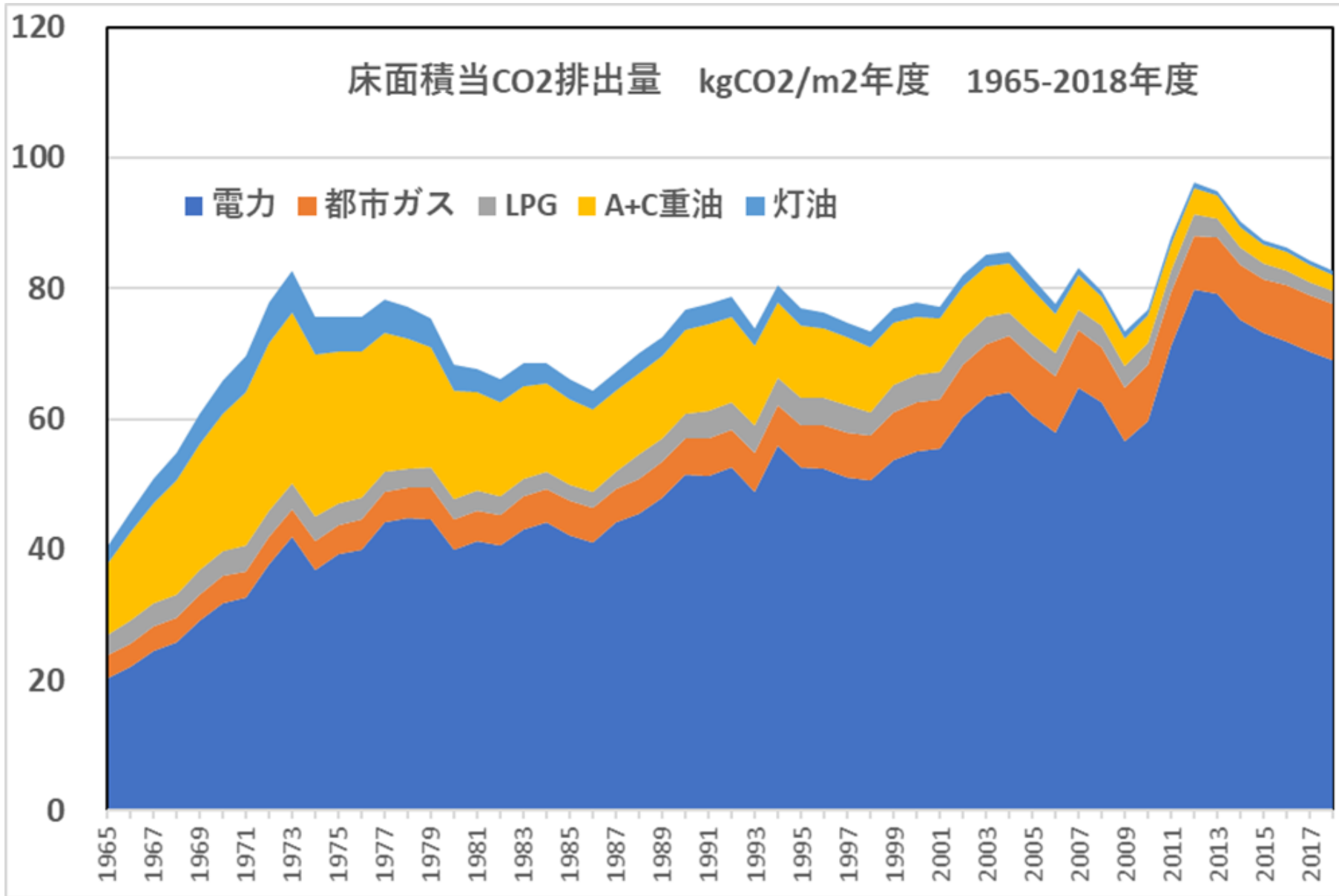
2018年度
157TgCO2/年度
11%減少

床面積当エネルギー消費量2004年度最大906MJ/m2年度



2018年度
742MJ/m2年度
18%減少

床面積当CO2排出量 2012年度最大 96.21 kgCO2/m2年度



2018年度
82.65kgCO2/m2
24%減少

業務建築部門のエネ消費とCO2排出

業務建物のエネルギー消費量, CO₂排出量も環境クズネッツ曲線傾向
家庭ほど顕著な減少ではない

業務建物床面積継続増大 2017年度末18.93億m²

2001年度から2017年度までの年率伸び率は0.68%

この間床面積合計は12.3%増大

2012年度以降エネ需要減少傾向

大震災後原発停止の影響大

室内照度低下, LED照明導入

東電から節電計画提出依頼

原発停止による電力CO₂排出係数急上昇

付加価値当CO2排出量

重化学工業（鉄、セメント、化学、紙）

重化学工業
18tCO₂/100万円

運輸

運輸
10tCO₂/100万円

その他産業（機械他製造業、建設、農業、卸小売、宿泊、医療、他サービス）

他産業平均
1tCO₂/100万円

国内生産額

実はGDPとCO₂排出は別物
（直接対策は）GDP低下も雇用減少も招かない
重化学工業以外の産業のほとんどは生産活動
とCO₂排出量は比例しない（直結関係なし）

重化学工業と運輸で半分6.1億tCO₂排出
そのGDPは46兆円，10%未満
他産業GDP434兆円90%，4.2億tCO₂，33%排出
付加価値とCO₂排出・無関係
別に家計消費355兆円，2.2億tCO₂，18%排出

拡張茅恒等式による削減要素分解

$$\text{CO2排出量} = \sum_{\text{部門}} \frac{\text{CO2排出量}}{\text{エネ消費量}} \times \frac{\text{エネ消費量}}{\text{物的活動量}} \times \frac{\text{物的活動量}}{(\text{経済活動量})} \times \frac{(\text{経済活動量})}{\text{人的活動量}} \times \frac{\text{人的活動量}}{\text{人口}} \times \text{人口}$$

単位 物的活動量：重量等 経済活動量:金額 人的活動量：時間・人

この拡張分解によりより上流での削減を明示、理解しやすくなる
経済活動量は人的活動単価で増減するが、この式では実質消去可能
排出削減が経済成長の障害になるという関係は消去できる
排出につながる活動様式を改革して物的消費量を削減することが鍵
人的活動量当物的消費量原単位を低下させることが鍵

DecuplingでGHGs排出削減を追求 =最も効果的対策

排出,エネ消費,物的資源消費,物流を削減 $\longleftrightarrow$ 実効用総福祉維持
= Decupling

GDP成長は不要 世界市場利益追求ビジネスが排出増大の原因
途上国排出増加は先進国ビジネス原因

しかし後発途上国の実効用増加は必要

現場自給生産 $\rightarrow$ （見かけ）経済活動縮小・実効用増大＋創造性発揮

雇用維持は不要 $\rightarrow$ 労働需要削減 $\rightarrow$ 総労働時間短縮 $\rightarrow$ 余暇

人口減少時代・高齢者介護に労働力最優先配置 $\rightarrow$ 労働時間短縮必要

自家生産自家消費、地産地消 $\rightarrow$ 物流削減 $\rightarrow$ Prosumer

地域固有素材活用 自然と融和した生活文化再構築

素材変革と加工変革が工業品生産と消費を一変させる

• 素材変革

セルロースナノファイバーNSF、炭素繊維

NSFガラス窓代替品 透明・軽い サッシュもNSFで作成

海マイクロプラ汚染→プラスチック代替品：生物原料素材へ

例：圧縮木材、カニの殻利用・キチン質素材等

木造建築とくに非住宅の推進→セメント消費減

3Dカッターを使った新しい建築構造

• 加工変革 3D技術 消費者が自分で創造デザインの時代へ →一品生産→脱工業生産社会 全員Prosumer

交通：酸水素燃料で既存内燃機関継続利用可能 これから電気自動車だけではない 世界市場貿易ビジネスをやめて物流tkm削減

交通：自動車交通の歴史は短い 自動車と道路をゼロから再考する必要

旅客交通：自家用車保有→カーシェア＋自動運転、ドローン化→新システム
途上国の自動車社会化進行は不可避 中古ガソリン車を水素で排出ゼロ

新設都市→自動車利用新システム先行試行

世界貿易と物流

廉価水素でトラック、船舶の輸送エネルギーは解決

しかし広域長距離輸送を削減必要←脱世界市場ビジネス誘導←世界輸送税
→大幅減少へ

物流システムは革新進化

自動車のロードマップ：2050年まで30年 寿命10年の自動車は3回更新

自動運転化＋排出削減→自家用車→カーシェア→移動サービス供給

先進国・巨大都市と郊外、途上国・大都市と農村 それぞれ長期計画

Biomass燃料は CarbonNeutral？疑問

パーム油・ヤシガラKPS輸入 バイオマス燃料発電はCO2排出大
京都議定書以来のBiomass Carbon Neutral は 正しかったのか？？
現に異常気象発生 燃せば今CO2排出 バイオマス燃料はZero.Emission
なのか？？

東南アジアから木質バイオマス燃料輸入を即刻停止すべき
政府施行は遅すぎ

気候変動問題30年

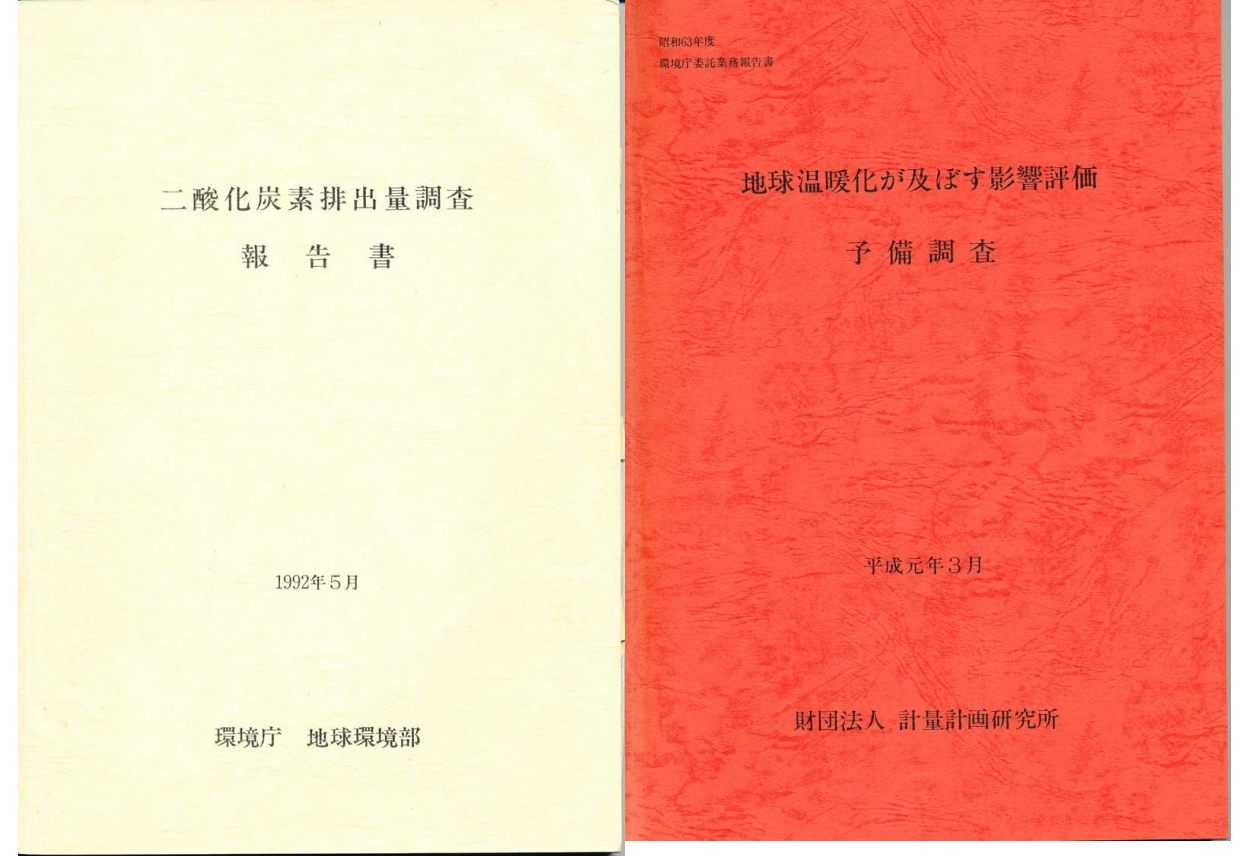
COP3京都会議1997以前から
COP25 Greta Tunbroug
“How dare YOU?”へ

地球温暖化が及ぼす影響評価
予備調査 1989

最初の地球温暖化関連受託研究
環境省大気企画課
まだ地球環境部は
できていなかった

日本のCO2排出量推計計算1992

私の気候変動研究の原点

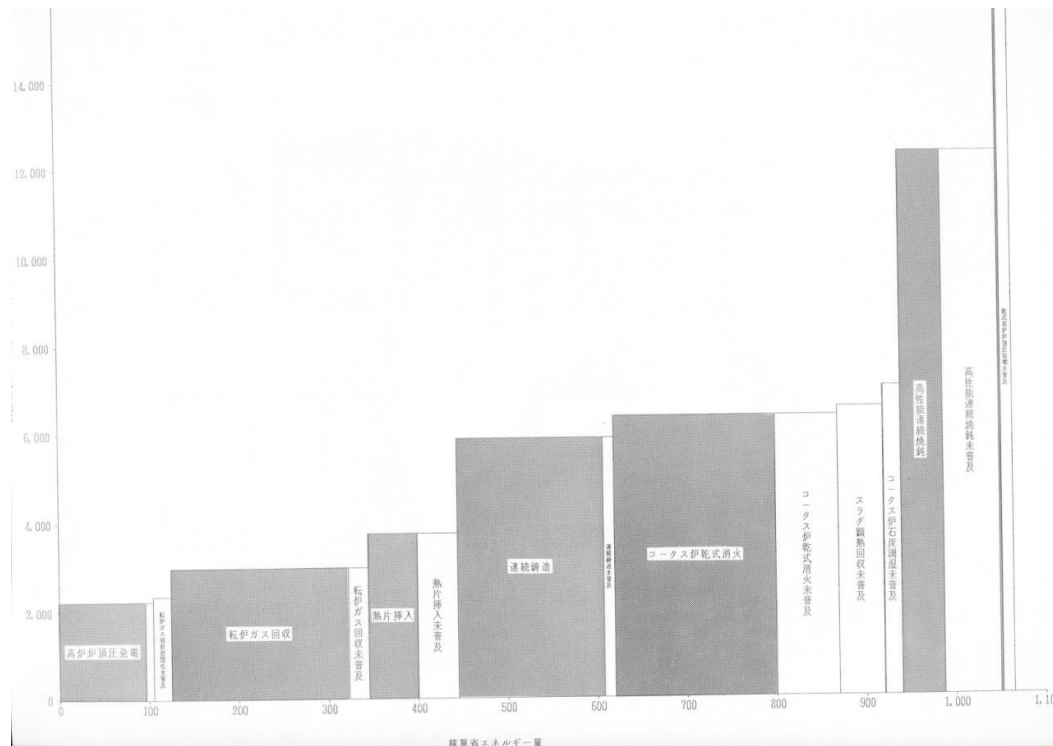


森口祐一と

世界のCO2排出量と
CO2以外の
温室効果ガス排出量
についても研究対象に

気候変動対策 エネルギー資源学会での研究発表 1992年頃 産業部門のCO2排出削減Potential研究

例：鉄鋼CO2削減対策供給曲線推計



藤井美文、石川雅紀、永田豊等共同研究1992
環境省：この報告書を対策マニュアルとして刊行

地球温暖化対策技術評価検討会 産業分科会 報告書

平成4年5月

環境庁 地球温暖化対策技術評価検討会 産業分科会

展望：LCCO2ゼロ住宅・生活Sunstainable・Life実現希望 要追求

古来 人類は近代工業製品なしで普通に生活して来た
現代技術を活かせばもっと可能性は広がる

セメント→ケイ素素材X

ガラス→ナノセルロースファイバー
木材の新利用 SDカッター組木等

鉄：水素製鉄・特定需要限定使用

+くず鉄+CCS→CO2ゼロ漸近

繊維：くもの糸・大量生産

食：新蛋白食X→増々豊富な食材へ

自然に依存しつつ翻弄されない農林水産の追求へ



環境研究の原点：自然と調和した農村風景



丹沢山農村風景 秦野市

Yutaka TONOOKA, 1968

1967,68 秦野市スケッチ
1968,69 奈良県明日香村
スケッチ旅行
1969 夏 福島県大内村
デザインサーヴェイ参加
武蔵野美術大
1970 夏 青梅市民家調査
早稲田大学
1970夏KJ法合宿講習会参加
1970箱木千年家スケッチ
1972 京都府和知,美山スケッチ
1973,74 沖縄渡嘉敷村おこし
CAT (Criative.Active.Team)
Tokyo参加

まとめ 当学会では政策手法論はしないでおく

真摯にParis協定目標達成へ

1.5°C以内達成困難に見える

同時に気候変動被害顕在化 さらに熱帯雨林消失危機

Carbon Budget 残余8.5年 Greta Tunbroug主張は正しい

とすれば戦争以上に対処必須 コスト無視で取り組むべき

酸水素の実用化最速推進→普及へ問題発見と解決へ

日本の製鉄業は水素還元製鉄技術開発実用化急げ

世界的に脱セメント消費努力必要

緩和策・適応策 同時推進 災害回避：都市と土地利用 変革急務

日本の持続可能社会伝統に学べは途は開ける

ytonooka@gmail.com