

工業炉におけるカーボンニュートラルに関する検討について

(一社) 日本工業炉協会 技術企画委員会

(目次)

1	はじめに	2
2	工業炉製造産業の動向.....	3
2.1	工業炉のエネルギー消費	3
2.2	「平成 26 年度 工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査」について.....	4
2.3	今後の工業炉の省エネ技術の仕分けについて.....	10
2.4	燃焼炉の非化石燃料対応への取組.....	24
2.5	エネルギー転換.....	24
2.6	参考資料	27
3	参考資料 (国の政策)	32
3.1	第 6 次エネルギー基本計画	32
3.2	グリーンエネルギー戦略中間整理	34
3.3	省エネ法改正 (2022 年)	36
4	まとめ	39

1 はじめに

現在、地球温暖化対策として温室効果ガスの排出量を実質ゼロにする取組が求められている。特に温暖化への影響が大きいとされているのが、二酸化炭素（CO₂）の排出量の多さである。エネルギーの供給は石油や石炭、天然ガスなど CO₂ 排出量の多い化石燃料に依存しているが、脱炭素化社会の実現に向けて、再生可能エネルギーへの転換を図るための技術開発が世界的に行われている。わが国においては、2020 年 10 月に政府が「2050 年カーボンニュートラル宣言」を発表し、2050 年までに脱炭素社会を実現し、温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを目標として掲げた。

さらに、2021 年 4 月 22 日の政府の地球温暖化対策推進本部において、菅首相（当時）は「地球規模の課題の解決に向け、我が国は大きく踏み出します。2050 年目標と整合的で、野心的な目標として、2030 年度に、温室効果ガスを 2013 年度から 46%削減することを目指します。さらに、50%の高みに向けて、挑戦を続けてまいります。この後、気候サミットにおいて、国際社会へも表明いたします。」と公式に発言した。

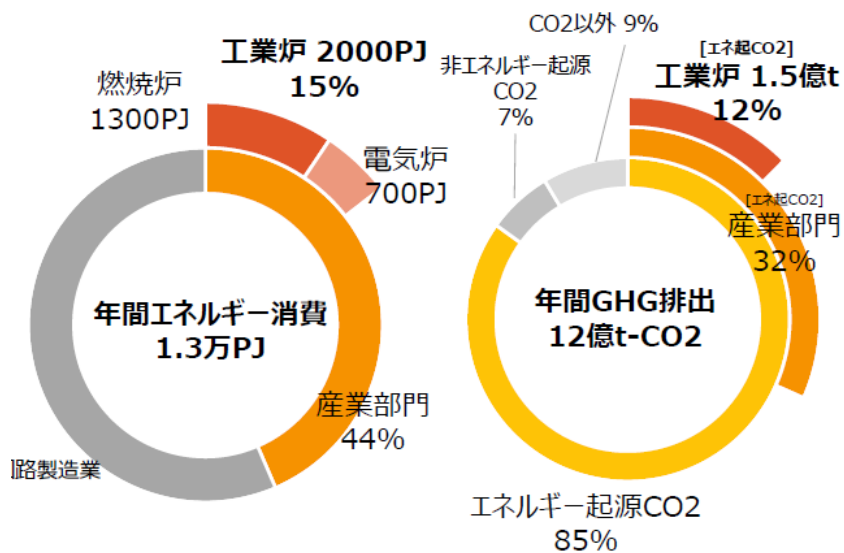
このような社会的な背景を受けて、日本工業炉協会の技術企画委員会では、2021 年 4 月～2022 年 3 月に、「工業炉製造業におけるカーボンニュートラルに関する検討 WG 会議」を設置し、工業炉製造産業の動向調査、今後の工業炉の省エネルギー技術検討、燃焼炉の非化石燃料対応への取組およびエネルギー転換等について検討を行った。

この報告書において、WG で調査した内容について報告する。

2 工業炉製造産業の動向

2.1 工業炉のエネルギー消費

エネルギー消費・GHG排出



(※) 燃烧炉の消費エネルギー=1281PJ=3557 億 kWh

日本全体の電力消費量 9273 億 kWh, 産業の電量消費量 3315 億 kWh

(素形材産業室 資料より)

2.2 「平成 26 年度 工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査」について

2.2.1 概要

現在国が定める温暖化対策計画のうち、工業炉に関連するものの根拠とされているのが、野村総合研究所がとりまとめた「平成 26 年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査）」（以下 2014 野村総研報告書）である。2014 野村総研報告書で定義される省エネ型工業炉の概要は下表のとおりである。

2.2.2 2014 野村総研報告書に示される数値及び技術内容

2014 野村総研報告書に示される数値は以下のとおりである。

2.2.2.1 工業炉台数

国内に存在する工業炉の台数は 36,993 台で、うち省エネ型は 24%（2012 年時点）される。工業炉の全体の数は、今後一定の値で推移されるものとされている（P.14, P.47, P.48 他）。

工業炉の平均更新台数は 28.4 年とされ、従来型のみ更新されるとの前提と読める。2012 年時点での従来型のストックは 28,081 台で、従来型ストックを 28.4 で除した数が毎年の更新台数であるとのシナリオである（すなわち更新台数は漸減する）。

上記工業炉の内訳は以下のとおりである（P.17）。

種別		台数	
燃焼炉	直火式	10,488 (28%)	21,516 (58%)
	間接加熱式	7,358 (20%)	
	熱風式	3,670 (10%)	
電気炉	抵抗加熱式	6,055 (16%)	12,862 (35%)
	アーク加熱式	249 (1%)	
	誘導加熱式	6,558 (18%)	
その他			2,616 (7%)
合計			36,993

注記：

有効数字の取り扱いで合計数が一致していないとのこと。

報告書では「間接加熱式」や「熱風式」では必ずしも燃焼炉であるとの明示はない。

「その他」が何であるかも不明である。

2.2.2.2 原単位

2014 野村総研報告書で用いられている各炉設備の一基当たりの原単位 (kl/t) の値が、炉設備メーカーが通常考えている値とはかなり大きめの値となっている。

■ 2014 野村総研報告書で用いられている数値

NRI報告書	P.57	P.58	P.69					電気の占める割合
	一基あたりの原単位(kL/t)	一基あたりの処理量(t/年)	一基当たり消費量(kl/年)	一基当たり消費量(GJ/年)	一基当たり消費量(kWh/年)	一基当たり消費量(kWh/年)	一基当たり消費量(MJ/年)	
誘導加熱型	0.217	7,189	1,560	60,466	16,796,006	16,779,808		100%
金属溶解型	0.222	6,938	1,540	59,699	16,583,075	16,563,668		100%
断熱強化型	0.183	8,232	1,506	58,390	16,219,380	3,231,793	46,537,824	20%
廃熱回収型	0.183	8,232	1,506	58,390	16,219,380		58,172,280	0%
材料予熱型	0.125	10,101	1,263	48,939	13,594,154		48,853,225	0%
換算係数	0.0258 kl/GJ	リンク						
	3600 kJ/kWh							

■ 上記から算出される各原単位の単位変換 (kL⇒kWh または MJ)

NRI報告書	P.57	電気の占める割合	原単位		MJ/t換算
	一基あたりの原単位(kL/t)		一基あたりの原単位(kWh/t)	一基あたりの原単位(MJ/t)	
誘導加熱型	0.217	100%	2,336		8,411
金属溶解型	0.222	100%	2,390		8,605
断熱強化型	0.183	20%	394	5,674	7,093
廃熱回収型	0.183	0%		7,093	7,093
材料予熱型	0.125	0%		4,845	4,845
換算係数	0.0258 kl/GJ	リンク			
	3600 kJ/kWh				

参考：

燃烧炉 1998年~2000年 高性能工業炉 FT (工業炉協会内部集計データの平均値)	既設炉：約 2,000MJ/t, 改造炉：約 1,400MJ/t
燃烧炉 アルミ溶解炉 協会会員ヒアリング	状態が悪い場合：4,200MJ/t 又は 1,160kWh/t (100万 kcal/t) 従来型：3,300MJ/t 又は 930kWh/t (80万 kcal/t) 省エネタイプ：2,100MJ/t 又は 580kWh/t (50万 kcal/t)
誘導溶解炉 協会会員ヒアリング	600~700 kWh/t 程度

2.2.2.3 省エネ型工業炉の定義

2014 野村総研報告書で定義される省エネ型工業炉の概要は以下のとおりである（P.23）。

省エネ型工業炉の概要

分類	説明	省エネ率*
高効率電気式工業炉	誘導加熱型 電磁誘導作用を利用して金属内で電気エネルギーを熱エネルギーに変えて発熱させるもの 必要な箇所のみを必要な時に急速に加熱することで、全体を加熱するのに必要なエネルギーを半減させ、かつ常時温度をキープしておかなければならない保持エネルギーも削減し、省エネルギーを図るもの	20%
	金属溶解型 鋳物材料等を溶解する場合に、従来型と比較して投入電力を高密度化させることにより、溶解時間を短縮し、放散熱の抑制を可能にすることにより、使用エネルギーを削減し、CO2削減に寄与するもの	20%
断熱強化型	工業炉の耐火断熱材を高断熱性耐火物（セラミックファイバー等）に改修することで、省エネルギーを図るもの	20%
廃熱回収型	バーナ本体と蓄熱器を一体化したユニットと流路切替の制御装置から構成されたシステムにより、廃熱の約 70～90%を燃焼空気予熱として回収利用することで、燃料使用量の削減を図るもの	30%
原材料予熱型	加熱帯から予熱帯に高温排ガスを流し、排ガスの顕熱により、材料の予熱（乾燥を含む）をすることで、大幅な省エネルギーを達成するもの	20%

*2014 野村総研報告書 P.69 より

「高効率電気式工業炉」は概ね誘導加熱式のものと考えられ、抵抗炉については除外されているように見える。これにより抵抗炉が当てはまるものは断熱強化型のみと考えられる。

「断熱強化型」においては耐火断熱材として、「高断熱性耐火物（セラミックファイバー等）」を使用するものと定義されている。セラミックファイバー等とはいわゆるリフラクトリーセラミックファイバー（RCF）を主に指すものと考えられるが、RCFを用いることはおおそ全ての炉型においていわば「普通の話」となっており、考えようによっては現在製造販売されるかなりの割合の炉が「断熱強化型」の範疇となってしまうともいえる。

「廃熱回収型」においては、定義からみるとリジェネレーティブバーナのみをさすものと解するのが自然であるが、近年アベイラブルヒート率が70%を超える（排ガス温度約1000℃で廃熱回収率約70%）レキュペレータシステムも存在することから、定義の拡大解釈が必要かと考えられる。

「原材料予熱型」も燃焼型においては廃熱回収の一つと考えられ考え方の整理が必要と考えられる。原材料予熱型には一部アーク炉によるものが含まれる。

2.2.3 2014年野村総研報告書における従来型と省エネ型の差の見積もり

2.2.3.1 廃熱回収型

	区分	定格クラス	装置概算価格* (100万)	台当たり エネルギー** (kL)	台当たり CO2 排出*** (t-CO2)
廃熱回収	従来型（廃熱回収なし）	100kW	14	67	1,327
		1MW	31	669	13,271
		10MW	197	6,687	132,710
		50MW	937	33,437	663,552
	リジエネバーナ／高効率レキユ	100kW	16	41	823
		1MW	35	415	8,228
		10MW	222	4,146	82,280
		50MW	1,054	20,731	411,402

*R3 先進的省エネルギー投資促進支援事業 検討結果をもとに類推（掛かり増し 11.1%）

** 排ガス温度 1100℃, AH 42%（従来型）, AH 80%（省エネ型）, 年間 300 日×24H で計算（廃熱回収は全て省エネ率 38%）

*** 0.0512 kg-CO2/MJ

2014年野村総研報告書では廃熱回収型の省エネ率は30%と記載（P.69）。

2.2.3.2 断熱強化型

炉内温度 (単位：℃)	省エネ型** 炉壁外面温度 (℃)			従来型*** 炉壁外面温度 (℃) (省エネ型+50℃)			容量別 上段：炉壁損失 (kW) (左：省エネ, 右：従来) 下段：省エネ率/かっこ内 省エネ前 (従来型) のkW数					
	天井	側壁	底面	天井	側壁	底面	320kW*		4MW*		95MW*	
1,300℃以上	120	110	160	170	160	210	219	332	320	725	3,804	7,145
							26% (430kW)		9% (4.4MW)		4% (98MW)	
1,100℃以上 1,300℃未満	110	100	135	160	150	185	181	336	339	636	3,372	6,205
							33% (480kW)		7% (4.3MW)		3% (98MW)	
900℃以上 1,100℃未満	100	90	110	150	140	160	147	291	276	553	2,771	5,402
							31% (460kW)		6% (4.3MW)		3% (98MW)	
900℃未満	80	70	90	130	120	140	99	228	185	433	1,850	4,206
							29% (450kW)		6% (4.2MW)		2% (97MW)	
概算年間使用エネルギー(kL/年)**** 上段：省エネ型/下段 (かっこ内)：従来型							220 (290~320)		2,700 (2,800~ 3,000)		64,000 (65,000~66,000)	
設備費価格 (100万円) *****							21	20	97	93	2,000	1,900

* ISO 13579 (ISO/TC 244 : Method of measuring energy balance and calculating efficiency) より。
320kW：連続浸炭炉 (ハイブリッド型, 炉温 800~950℃), 4MW：バッチアルミ溶解炉 (燃焼炉, 炉温 1150℃), 95MW：連続鋼片加熱炉 (燃焼炉, 炉温 1250℃)

省エネ型における容量として記載。また、実例に近い領域のものについては赤字で記載しております。

**省エネ法の目標値 (事業者の判断の基準の別表第3 (B) 目標炉壁外面温度 (11-2 (14) 関係))

***メンテナンス等が適切に行われていないような経年劣化を考慮したような数値です。

**** 38.5GJ/kL, 年間 300日×24Hで単純計算

***** 設備費のみの概算。R3 先進的省エネルギー投資促進支援事業 検討結果 (但し燃焼炉のみ) をもとに類推 (省エネ型掛かり増し比率 4%で試算)

2014年野村総研報告書では廃熱回収型の省エネ率は20%と記載 (P.69)。MWクラスの炉になるとここまで省エネ率が出せないものと推察される。

2.2.3.3 高効率電気式（誘導加熱）

	低炭素型の概要	能力：ボリュームゾーン	省エネ率	備考
誘導加熱装置	最適コイル化（最適コイル径，コイル長，周波数等） 無水冷レールの採用	500kW～ 2,000kW	5%～10%程度* *	省エネのためにはコイルの切換頻度が高くなる。 無水冷となると短寿命となるためメンテ費用/労力がかさむ。
焼入れ装置	加熱手法の合理化 （例：一発焼入れ）	～ 1,500kW	数 10%の省エネ率が見込める*	最適コイルのため，コイル切換頻度が高くなる。
	高周波化による電力の高密度化			
溶解炉	高周波化による電力の高密度化	500kW ～ 4,000kW	20%程度**	短時間で溶解するので，過昇温の危険性あり。
誘導加熱全般	真空管→半導体（IGBT または MOSFET）化	数十 kW～ 数百 kW	30%程度*	真空管台数 100kW 1,000 台 50kW 数千台 周波数 20～30kHz 以上

注記)

* おおむねの想定値

** 下記削減量例参照

2014 年野村総研報告書では金属溶解型の省エネ率は 20%と記載（P.69）。

2.2.3.4 誘導溶解炉エネルギー削減量例

概要：

- ・定格 1200kW 誘導溶解炉で電力の高密度化。
- ・炉容量を 5 t から 2 t にして電力を高密度化し，溶解サイクルを短縮し損失を低減。

エネルギー削減量（計算値）

		従来型	高効率型
炉容量	ton	5	2
定格電力	kW	1,200	1,200
出湯量	t/回	3 (2/5 残湯溶解)	2 (全出湯溶解)
出湯回数	回/日	4	6
平均原単位	kWh/t	704	547
消費電力量	kWh/日	8,448	6,562
年間消費電力*	kWh/年	2,196,508	1,706,090
年間消費エネルギー	kl/年	5,650	4,389
省エネ率	%		22
省エネ量	kl/年		1,261

2.3 今後の工業炉の省エネ技術の仕分けについて

2.1 項での現状をふまえ、今後の工業炉省エネ技術の仕分けのあるべき姿について検討した。

基本的な考え方：

- 野村総研報告書でまとめられている工業炉の省エネ技術の内容は限定されたものとなっているが、実際は様々な手法がある。
- フレームワークとしては広幅に構築し、様々な技術を付加できるようにまとめる。

2.3.1 加熱方式と既存の省エネ技術の区分

省エネルギー法の「中長期的な計画の作成のための指針」（製造業）にまとめられている技術の内、工業炉に関連するものを抽出し、以下の区分 A 及び区分 B のカテゴリを定義し、2.3.2 項に示す通り分類した。

●区分 A

省エネ技術区分 A	例
1：システム外	送電ロス，燃料輸送ロスに着目した技術 燃料転換（以下のエネルギー区分間で行われる） <ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料（液体） ● 化石燃料（気体） ● 電気* ● 非化石燃料 （*CO2 排出係数も考慮に入れる場合も存在）
2：機械・機器	配線ロス 配管ロス 利用効率向上 => 省エネ機器 力率改善された機器 空気比制御（最適な空気比は総合的に決められる） 燃焼器 酸素富化バーナ（エネルギーの高密度化） 非化石燃料用バーナ
3：炉本体	<ul style="list-style-type: none"> ●昇温・均熱時の炉からの熱損失（広義の断熱強化） 炉壁 => 断熱材（断熱強化） => 壁面塗装（処理） 放射・輻射率制御 雰囲気の流れ => カーテン エネルギー（輻射）の流れ => 反射板・遮光板 輸送配管 => 保温材 ●熱源からロスしてしまう熱（アベイラブルヒート⇔排熱回収）
4：炉体外	処理後の材料・冷却媒体が持っている熱（カスケード利用的なもの） エネルギー変換 => 熱から電気 蓄熱 => 熱のまま 余熱利用 => 燃料・原料の予熱

省エネ技術区分 A	例
5：加熱方式の最適化	エネルギー伝達（伝熱・発熱）の最適化 周波数の選択（抵抗加熱/赤外/マイクロ波/誘導加熱） 発熱体の最適化 直接加熱/間接加熱
10：その他	

●区分 B

省エネ技術区分 B	例
1：制御系	
2：計測・分析器	
3：燃焼器（燃料・空気・排気システム及び機器含む）	
4：廃熱回収（排熱回収）	燃焼空気予熱 材料予熱
5：断熱強化（材料）	
6：炉体形式・設計	
7：電熱ヒータ	
8：電熱用：電力変換機器・装置	
9：補機類：動力機（電動機・流体機器等）	電動機用のインバータ 油圧機器
20：その他	

2.3.2 省エネ技術

区分 A = 1 (システム外), 区分 B = 1 (制御系)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
	エネルギー消費原単位管理機能	時間別原単位をリアルタイムでグラフ化し、原単位が悪化している時間帯を顕著にさせる機能。	1	1	1	1	1	1
	総合エネルギー管理システム	I o T ・ A I 等の活用により、主要設備ごと、設備群ごと、ラインごと等のエネルギー管理に必要となる設備の監視機能、操作制御機能、記録機能及び設備管理機能等が必要度に応じて組み込まれたもの。	1	1	1	1	1	1
	ネットワーク対応型製造設備	稼働状況や製造条件のデータ取得が可能であり、その他の設備とのデータ流通が可能なインターフェースを備えるもの。制御装置を介してその他の設備とネットワークで接続した上で、取得、蓄積された設備に関するデータを活用した制御の実施に有効。	1	1	1	1	1	1

区分 A = 2 (機械・機器), 区分 B = 1 (制御系)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
空気比改善	自動燃焼制御装置	炉内ガス、排ガス中の残存酸素濃度、温度等を計測し、流量、空気比設定を含む総合的な燃焼制御装置。	1	1				
空気比改善	高度空気比制御装置	制御対象ごとに空気比パターンを燃焼条件に合わせて選択し、コンピュータによりリモート制御するもの。より高度なシステムでは、複数設備全体の総合制御も可能なものもある。	1	1				
熱効率の向上	容量可変燃焼用空気送風装置	回転数制御装置（インバーター化等可変可能な機器）による送風量制御。	1	1				
通風装置	自動通風計測制御装置	圧力検出装置による炉圧測定から通風量を計算し、これにより自動的にハイレスポンスダンパー等の炉圧制御装置により通風量を自動的に制御するもの。	1	1				
燃焼管理	燃料流量調整装置	プロセス値に合わせて燃料供給量を制御するもの。	1	1				
燃焼管理	燃焼用空気流量測定装置、燃料／空気流量調整装置	プロセス値に合わせて燃焼用空気供給量を制御するもの。	1	1				
燃焼管理	自動燃焼制御装置	炉内ガス、排ガス中の残存酸素濃度、温度等を計測し、流量、空気比設定を含む総合的な燃焼制御装置。	1					
燃焼管理	高度空気比制御装置	制御対象ごとに空気比パターンを燃焼条件に合わせて選択し、コンピュータによりリモート制御するもの。より高度なシステムでは、複数設備全体の総合制御も可能なものもある。	1					

燃焼管理	燃焼監視装置, 燃焼管理・診断システム	燃料使用量, 燃焼用空気量, 排ガス温度等をコンピュータにより常時計測・監視することにより, 総合的に燃焼管理又は診断するシステム。	1					
加熱制御方法の改善	熱設備エネルギー利用効率化自動制御システム	加熱炉, 熱処理炉, ボイラー等のエネルギー使用予測及び管理を行うためのコンピュータによる監視・制御システム。	1	1	1	1	1	1
加熱制御方法の改善	ヒートパターン制御装置	バッチ炉では処理ごとにヒートパターンを選択設定できるもの。連続炉では処理材の切り替えに伴い炉長方向の温度プロファイル(ゾーン温度)を材料移動にしたがって順次設定できるもの。	1	1	1	1	1	1
その他	熱設備エネルギー利用効率化自動制御装置	製造工程における熱利用設備のエネルギー使用の予測・管理をコンピュータにより自動制御するもの。	1	1	1	1	1	1
回転数制御装置	インバーター制御装置	ポンプ, ブLOWER等の流量をインバーターにより制御する装置。より精密な速度制御や頻繁な可逆運転を要求される負荷の駆動には, ベクトルインバーター駆動装置が有効。	1	1	1	1	1	1
計測管理装置	デマンドコントロール装置	最大電力を常時監視し, 自動的に警報又は負荷の遮断を行う装置。生産ラインに影響の少ない負荷の遮断に有効。	1	1	1	1	1	1
計測管理装置	電力負荷率改善システム	電力負荷率の低い工場における受変電設備, 配電設備からの損失低減を図るため, 工場の生産工程調整を含む電力負荷管理をコンピュータにより制御するシステム, 蓄熱システム又は高効率蓄電池システム(リチウムイオン電池, ナトリウム硫黄電池, ニッケル水素電池等)の負荷緩衝システムを単体又は組み合わせて電力負荷率を最適にコントロールするシステム。特に複数工程を有する工場, 電気炉負荷, 冷凍負荷の大きい工場で有効。	1	1	1	1	1	1
計測管理装置	運転台数の自動制御装置	ポンプ, コンプレッサー, 小型ボイラー等の複数台の装置が設置されている場合に負荷に合わせて運転台数を自動的に制御する装置。シーケンス等によりオン・オフ制御する装置等がある。	1	1	1	1	1	1
空気比改善	自動燃焼制御装置	炉内ガス, 排ガス中の残存酸素濃度, 温度等を計測し, 流量, 空気比設定を含む総合的な燃焼制御装置。	1	1				
空気比改善	高度空気比制御装置	制御対象ごとに空気比パターンを燃焼条件に合わせて選択し, コンピュータによりリモート制御するもの。より高度なシステムでは, 複数設備全体の総合制御も可能なものもある。	1	1				

区分 A=2 (機械・機器), 区分 B=2 (計測器・分析器)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
空気比改善	燃焼排ガス分析計	ボイラー, 各種工業炉, その他燃焼装置の排ガス成分(O ₂ , CO ₂ , CO等)を分析し, 燃焼管理する携帯用分析計。	1	1				
熱効率の向上	燃料(気体, 液体)用流量計	個々の燃焼バーナーに装備して流量を測定し, 燃焼設備の熱効率を管理するための計測器。	1	1				

燃焼管理	流量（瞬間流量，積算流量）測定装置	熱設備の燃料消費量のトレンドを監視するなど，最適な燃焼を管理する装置。	1	1				
計測管理装置	自動計測装置	電気使用量，流量等について超音波等を用いて自動計測する装置。	1	1	1	1	1	1
計測管理装置	電気加熱温度自動制御装置	フィードバック方式，フィードフォワード方式とフィードバック方式の併用により温度を自動制御する装置。			1	1	1	1
R4 先進的省エネルギー投資促進支援事業 (A)先進事業に採択された設備	アーク炉溶け落ち判定システム	製鋼用交流電気炉において，マイク及び CT から取得した炉内音及び高調波を定量的に判定することにより，溶け落ち判定のばらつきを解消し，電力量原単位を削減するもの。					1	

区分 A = 2（機械・機器），区分 B = 3（燃焼器）

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
熱効率の向上	順序燃焼制御装置	複数のバーナーを定められたタイムスケジュールにより順番に燃焼制御を行う装置。高速噴流による炉内の雰囲気攪拌効果を併用するとより有効。	1					
熱効率の向上	蒸気アトマイズ，ガスアトマイズ装置	重質油，低質油の燃焼性向上のため，バーナー内に蒸気又はガスを噴霧する装置。	1	1				
熱効率の向上	酸素燃焼バーナー，酸素富化燃焼バーナー	燃焼用空気の代わりに純粋酸素を用いたり，燃焼用空気に酸素を混合することにより，排ガスによる熱損失の低下，燃焼温度の上昇を図り伝熱効率を上げる。付帯設備として，燃料流量測定装置（瞬間流量，積算流量），燃料流量調節装置，燃焼用空気流量測定装置，燃焼用空気流量調節装置。	1	1				
熱効率の向上	触媒燃焼バーナー	表面燃焼により，火炎温度を低温度化し，不完全燃焼の防止及び低 NOx 化が図れる。	1	1				
熱効率の向上	高面負荷ガスバーナー	予混合式ガス燃焼バーナーとして，管巢燃焼を形成する高面負荷ガスバーナーで，火炎温度を下げ，低 NOx 化，排ガス温度低下が図れる。	1	1				
熱効率の向上	可燃廃液・可燃排ガス混焼設備バーナー	可燃廃液，可燃排ガスを利用し，他の燃料と混焼が可能となるように設計されたバーナー。	1	1				
熱効率の向上	液中燃焼バーナー	液相の被加熱物の中で燃焼を行うバーナー。	1					
熱効率の向上	高効率浸管バーナー	被加熱物に浸した管内で燃焼を行うバーナーで効率 80%以上のもの。		1				
熱効率の向上	表面燃焼バーナー	金属繊維面での表面燃焼により，バーナー表面からの輻射と高温燃焼ガスの対流で均一な加熱と効率の高い加熱が可能バーナー。	1					
熱効率の向上	浸漬ヒータ	熔融金属中に浸漬させ，溶湯内部から直接加熱するもの。		1	1			

熱効率の向上	流動層燃焼装置	完全燃焼させるために固体、粉体を流動層で燃焼させるもの。	1						
熱効率の向上	燃焼負荷適正空気量送風機	ボイラー、工業炉等の燃焼装置に設置され、最適空気量で運転し、熱効率を向上させる送風機（ダンパーレス）。	1	1					
通風装置	排気量可変排気ファン	回転数制御装置（インバーター化等可変可能な機器）による排気量を圧力信号により制御するもの。	1						
通風装置	工業炉用脱湿送風装置	冷凍除湿した空気を再熱（予熱）する機構を有する送風装置。	1						
熱伝達率の向上	噴流加熱装置	排気ガスを被加熱物に直接噴射し又は近距離から加熱することにより加熱時間を短縮できるもの。	1						
熱伝達率の向上	高効率ラジアントチューブバーナー	電気加熱の代替として60%以上の効率を有するもの。		1					
直接加熱機器・装置	液中燃焼バーナー	液相の被加熱物の中で燃焼を行うバーナー。	1						

区分 A = 2（機械・機器），区分 B = 4（廃熱回収装置（材料予熱含む））

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式						
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外	
熱効率の向上	燃焼用空気予熱設備	多管型熱交換式，プレート型熱交換式，ヒートパイプ型熱交換式等又は蓄熱式熱回収装置で廃熱を回収し，燃焼用空気を予熱するもの。	1	1					
熱効率の向上	廃熱回収式燃焼装置	リジネレイティブ・バーナー，セルフリジネバーナー，トリジネシステム，レキュペレイティブ・バーナー，レキュペレータ付きラジアントチューブ・バーナー，リジネレイティブラジアントチューブバーナー等。	1	1					
効率的な熱回収	耐食性高効率熱交換器	クロムメッキ，クロム蒸着などの表面処理を施すこと又はチタン等の耐食性素材を用い，構造的には伝熱面積を増加するためにプレート型，スイスロール型，フィン付のもの。	1	1					
効率的な熱回収	蓄熱式熱交換器	セラミック製，ステンレス製，メタルハニカム，セラミックハニカム，メタルボール（ナゲット），セラミックボール（ナゲット），回転式蓄熱熱交換装置セラミック製のもの。	1	1					
効率的な熱回収	ヒートパイプ式高効率熱交換器	ガス／ガス式熱交換器として排ガス－燃焼用空気などの熱交換に使用するもの。	1	1					
熱交換器の改善	燃焼用空気等予熱用熱交換器	多管型熱交換式，プレート型熱交換式，ヒートパイプ型熱交換式等又は蓄熱式熱回収装置で廃熱を回収し，燃焼用空気を予熱するもの。洗浄装置付きが有効。	1	1					
熱交換器の改善	蓄熱式熱交換器	セラミック製，ステンレス製，メタルハニカム，セラミックハニカム，メタルボール（ナゲット），セラミックボール（ナゲット），回転式蓄熱熱交換装置セラミック製のもの。	1						
R4 先進設備*	螺旋状 SiC 熱交換器を有する廃熱回	ラジアントチューブ内部に SiC 製の螺旋状熱交換器を配し，燃焼空気を予熱するもの。リジネ		1					

	収型ラジアンチューブバーナ	レーティブバーナと同等レベルの低い排ガス損失率を達成する。							
--	---------------	-------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

* R4 先進的省エネルギー投資促進支援事業 (A)先進事業に採択された設備

区分 A = 2 (機械・機器) , 区分 B = 8 (電熱用 電力変換機器・装置)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
力率改善	進相コンデンサ	工場受電端又は設備単体で力率向上の効果のある設備に油入り、乾式等の電力コンデンサ(進相コンデンサ)を設置することにより力率を改善させる。	1	1	1	1	1	1
力率改善	自動力率改善装置	系統の無効電力または力率を測定し、系統力率が100%となるよう、進相コンデンサの投入・開放を自動的に行う力率改善装置。	1	1	1	1	1	1
その他	高効率変圧器	低損失磁性体材料を使用した変圧器及び低損失構造の変圧器。特定エネルギー消費機器に該当する場合には、トップランナー基準を満たすもの。	1	1	1	1	1	1
その他	負荷電圧安定化供給装置	高い電圧による負荷中心点への配電、系統インピーダンスの低減によっても、なお、電圧降下が大きいか許容電圧変動範囲に収まらない場合に負荷時タップ切替変圧器、負荷時電圧調整器、誘導電圧調整器等の電圧調整装置により安定した電圧で供給する装置。	1	1	1	1	1	1
その他	400ボルト級配線設備	工場低圧動力装置、空気調和、衛生動力機器、エレベータ電源、照明負荷等に対する電気供給のための配線設備で、400ボルト級の三相4線式配線方式のもの。	1	1	1	1	1	1
R4 先進設備*	ターンコイル	直流型アーク炉における陽極側導体をコイル形状に配置した設備					1	

* R4 先進的省エネルギー投資促進支援事業 (A)先進事業に採択された設備

区分 A = 2 (機械・機器) , 区分 B = 9 (補機類：動力機(電動機・流体機器等))

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
熱伝達率の向上	炉内攪拌装置	炉内の高温あるいは加温ガスを攪拌・循環し、伝熱効果を高める装置。		1	1		1	
回転数制御装置	機械式無段変速装置	モータと一体に組み立てられた無段変速機(リングコンプリーとベルトで構成されたもの等)。	1	1	1	1	1	1
回転数制御装置	サイリスタモータ	ブラシレス同期モータ、サイリスタインバーター、回転子位置検出器とゲート制御回路とからなる加減速用モータ。特に大容量で精密な速度制御・頻繁な可逆運転をする装置の駆動を必要とする場合に有効。	1	1	1	1	1	1
回転数制御装置	極数変換モータ	モータの極数を切り替えることにより回転数を段階的に切り替えることができるもの。速度変換要	1	1	1	1	1	1

		求が固定 2, 3 段でよい負荷のある場合に有効。							
力率改善	モーター一体型進相コンデンサ	モータ単体毎に設置する進相コンデンサで、設置することにより個別負荷設備ごとに力率を改善することができるもの。	1	1	1	1	1	1	1
その他	高性能油圧ユニット	各種設備に多く採用されている油圧装置にインバーター化あるいはその他の回転数制御機能を付加し負荷変動に対応して最適に制御。	1	1	1	1	1	1	1

区分 A = 2 (機械・機器), 区分 B = 20 (その他)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式						
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外	
熱効率の向上	高効率酸素分離装置	圧カスウィング吸着 (P S A) 式酸素発生装置, 分離膜式酸素発生装置, 深冷分離式酸素発生装置。	1						
通風装置	付着物除去装置	ダクト内及び配管に付着したスス等を蒸気噴射等により除去するもの。	1	1					
熱伝達率の向上	接触伝熱装置	ロールヒータによる金属ストリップ, 紙, 織布等加熱, 冷却。			1	1			
計測管理装置	変圧器の台数制御	軽負荷時に余裕変圧器を解列すること。特に休日・夜間の負荷が極小となる工場に有効。	1	1	1	1	1	1	1
その他	高性能電気分解炉・メッキ炉	変圧器一体型整流器, 印加電力調整装置が付属し, 高電圧対応の電気分解炉, メッキ炉では, シアン浴メッキ炉から塩化浴メッキ炉, サージェント浴炉からフッ化浴メッキ炉への転換が有効。							1
その他	アルミドロス有価物回収システム	回転型アーク炉を用い, アルミドロスから高効率にアルミを回収するシステム。						1	

区分 A = 3 (炉本体), 区分 B = 1 (制御系)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式						
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外	
炉壁面の放射率向上	遠赤外線塗装乾燥装置・高性能遠赤外線乾燥装置	遠赤外線を照射することにより被塗装物の焼き付け, 乾燥を行う装置であって, 複数の温度センサーにより炉内温度を計測し, 照射量を自動制御する機能, 空気攪拌機構, 自動調整装置を有するもの。			1				
熱伝達率の向上	遠赤外線塗装乾燥装置・高性能遠赤外線乾燥装置	遠赤外線を照射することにより被塗装物の焼き付け, 乾燥を行う装置であって, 複数の温度センサーにより炉内温度を計測し, 照射量を自動制御する機能, 空気攪拌機構, 自動調整装置を有するもの。			1				

区分 A = 3 (炉本体) , 区分 B = 4 (廃熱回収装置 (材料予熱含む))

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
効率的な熱回収	被加熱材料顕熱回収装置	材料予熱等に使用するため、被加熱処理材の顕熱を冷却工程で回収する装置。	1		1	1		
加熱設備での熱の複合利用	排熱利用原材料乾燥・予熱装置	溶解炉、焼成炉、加熱炉等の排ガスで投入原料を乾燥・予熱するもの。	1	1			1	
効率的な熱回収	被加熱材料顕熱回収装置	材料予熱等に使用するため、被加熱処理材の顕熱を冷却工程で回収する装置。	1		1	1		

区分 A = 3 (炉本体) , 区分 B = 5 (断熱強化)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
工業炉の断熱性向上	高性能炉壁断熱材	セラミックファイバー等の軽量・低熱伝導断熱材。	1	1	1	1	1	1
加熱設備の断熱向上	熱輸送管断熱強化	大径管の内面断熱のセラミックファイバー等軽量・高断熱保温材、軽量キャストブルによる断熱強化。また、小径管の外部保温材としてグラスウール、ロックウール、セラミックファイバー等の軽量・高断熱保温材による断熱強化。	1	1	1	1	1	1
加熱設備の断熱向上	スーパーインシュレーション	低輻射率材積層断熱、真空断熱。	1	1	1	1	1	1
熱媒体輸送管の合理化	熱輸送管断熱強化	大径管の内面断熱のセラミックファイバー等軽量・高断熱保温材、軽量キャストブルによる断熱強化。また、小径管の外部保温材としてグラスウール、ロックウール、セラミックファイバー等の軽量・高断熱保温材による断熱強化。	1	1	1	1	1	1
被加熱材の予備処理	省エネルギー型乾燥装置	被乾燥物の特性、必要温度に応じて、マイクロ波、170℃以上の排ガス循環乾燥炉、熱媒利用空気予熱式、吸着剤利用乾燥空気を使用する乾燥機、赤外線乾燥、ヒートポンプ式乾燥装置等が有効。						1

区分 A = 3 (炉本体) , 区分 B = 6 (炉体形式・設計)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外

炉壁面の放射率向上	高効率放射加熱乾燥装置	セラミックコーティンググラジアントチューブ、反射板、排送風機付きの加熱乾燥装置。		1	1			
炉壁面の放射率向上	炉内壁面輻射増進塗装	炉内壁面に炭化珪素系又はジルコニア系塗料等耐熱・高輻射材料を塗布し、熱放射率を上げたもの。	1	1	1			
開口部の縮小・密閉装置	親子扉	大型加熱炉、鍛造炉において親扉の他に材料寸法に合わせた子扉の設置。	1	1	1			
開口部の縮小・密閉装置	スロート部カーテン装置	スロート部に複数段の金属鎖、耐熱クロス等の仕切りカーテン又は仕切り板を設け、その仕切り間に空気又は排ガスを噴出することにより炉内熱ガスの流出及び放射損失の低減させるもの。また、乾燥炉では、エアカーテンも有効。	1	1	1			
開口部の縮小・密閉装置	ハンパック炉	加熱帯が出入口より上部にあり、高温の炉内ガスを閉じ込めることにより、熱ガスの外部リークを少なくするよう設計された炉。比較的小型の連続加熱炉、連続処理炉に有効。			1			
熱媒体輸送管の合理化	配管の合理化	複数の熱輸送管の統合・分散による合理化。	1	1	1	1	1	1
熱媒体輸送管の合理化	継ぎ手締結部の露出極小化	熱輸送管の継ぎ手の減少化。	1	1	1	1	1	1
被加熱材の予備処理	カウンターカートキルン	被加熱物をキルン内で往復させ、被加熱物の顕熱を回収し、予熱に利用するもの。	1	1				
その他	高効率脱臭装置	リジエネ式脱臭装置（２つのバーナーと蓄熱材を交互に使用して脱臭燃焼するもの）、吸着式濃縮脱臭装置（低濃度臭気物を吸収材に付着させ、高濃度化した後、燃焼処理するもの）、触媒燃焼式脱臭装置（触媒を用いることにより低温度で脱臭処理するもの）。	1					
R4 先進設備*	溶融亜鉛めっき炉における浸漬管式セラミックバスめっき炉	溶融亜鉛メッキ炉において、セラミック製バス及び、熱源として排熱回収式の浸漬管バーナーを用いるもの。		1				
R4 先進設備*	排熱回収型炉体移動式熱処理炉	（大型の）被加熱物を床面に配した後に、炉本体を移動させ被加熱物を炉内に設置させる機構を有するものであって、熱源として排熱回収バーナーを有するもの。通常、被加熱物を配置する領域は２か所設定され、処理単位ごとに炉本体が交互に移動し加熱処理を行う。	1	1				
R4 先進設備*	並行流蓄熱式石灰焼成炉（PFR炉）	石灰石焼成炉で、直立円筒状の構造を有するシャフト炉で、かつ、二つのシャフトで構成されるものであって、それぞれ二つのシャフト内で交互に燃焼させるもの。一方のシャフトから排出される燃焼排ガスがもう一方のシャフトを通過し、中に充填されている被加熱物を予熱する。	1					
R4 先進設備*	真空浸炭炉	浸炭処理を、減圧状態にした炉内に少量のアセチレンを導入して行うもの。			1			
R4 先進設備*	雰囲気熱処理炉における雰囲気ガス精密制御	雰囲気熱処理炉において変性ガスの流量及び炉圧を計測、フィードバックして精密に雰囲気ガス流量を制御するもの。		1	1			

* R4 先進的省エネルギー投資促進支援事業（A）先進事業に採択された設備

区分 A = 4 (炉体外) , 区分 B = 4 (排熱回収)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
R4 先進設備*	スクラップ予熱機構 (アーク炉)	シャフト内に充填されたスクラップにアーク炉本体から発生する排ガスを導入し、スクラップを予熱するもの					1	

* R4 先進的省エネルギー投資促進支援事業 (A)先進事業に採択された設備

区分 A = 4 (炉体外) , 区分 B = 6 (炉体形式・設計)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
加熱設備での熱の複合利用	塗料燃焼型焼付乾燥炉	塗料溶剤蒸気の焼却熱を回収し、焼き付け加熱熱源とするもの。	1					
加熱設備での熱の複合利用	排熱利用焼き戻し炉	焼入れ炉の燃焼排ガスを焼き戻し炉の熱源とするもの。	1					
加熱設備での熱の複合利用	排熱利用酸洗装置	連続焼鈍酸洗圧延設備等焼鈍炉の排熱で酸洗槽を加熱するもの。	1					

区分 A = 5 (加熱方式の最適化) , 区分 B = 6 (炉体形式・設計)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
熱伝達率の向上	流動床加熱装置	高圧熱風を流動床下部より噴射し、被加熱物 (又は砂等の媒体を介して) を攪拌することによって急速かつ均一に加熱するもの。	1					
熱伝達率の向上	直接通電加熱装置	処理材に直接電流を流して加熱するもの。また、2次電流回路による誘導電流型加熱方式も有効。			1	1		
熱伝達率の向上	マイクロ波加熱装置	マイクロ波を用いて内部より急速に加熱するもの。						1
熱伝達率の向上	炉内伝熱シミュレーションによる最適化	シミュレータによる解析からプロセスの工業最適条件を見いだすこと。	1	1	1	1	1	1

熱伝達率の向上	ハイブリッド式加熱システム	燃焼による予熱後、誘導加熱等で加熱することにより、エネルギー消費原単位を向上させる複数の熱源を使用する加熱システム。	1	1	1	1	1	1
直接加熱機器・装置	直火式繊維乾燥装置	スチーム乾燥の代替として、熱風発生バーナー等を用いて直火乾燥をする装置。	1					
直接加熱機器・装置	直火式乾燥装置	燃焼排ガスを直接乾燥に利用するもの。	1					

区分 A = 5 (加熱方式の最適化) , 区分 B = 20 (その他)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
加熱制御方法の改善	直接通電式加熱装置	(2)④参照			1	1		

区分 A = 10 (その他) , 区分 B = 6 (炉体形式・設計)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
熱伝達率の向上	高効率工業炉	急速加熱式 (排ガスを被加熱物に噴射し、又は、近距離で加熱することにより加熱時間を短縮したもの)、予熱・加熱一体炉、高断熱、燃空流量比例制御、衝撃噴流加熱などであって、別表 1 に掲げる基準を満たすもの。	1	1	1	1		
電気加熱設備	高性能アーク炉	高感応アーク炉、UHPアーク炉、直流アーク炉、排ガスによる原料予熱装置付きアーク炉、炉体旋回式アーク炉。					1	
電気加熱設備	高性能抵抗炉	サイリスタ (又はトライアック) 位相制御付き抵抗炉、高性能断熱材使用の炉などであって、別表 1 に掲げる基準を満たすもの。			1			
電気加熱設備	高性能高周波炉	静止型 (トランジスター、サイリスタ素子等を使用したもの) の高周波溶解炉、高周波誘導加熱装置、高周波電源装置などであって、別表 1 に掲げる基準を満たすもの。				1		
電気加熱設備	高性能溶解・保持用溝型炉	連続湯温度測定装置及び印加電力連続制御装置の付いた溝型炉などであって、別表 1 に掲げる基準を満たすもの。				1		

区分 A = 10 (その他) , 区分 B = 20 (その他)

概要	設備・システム・技術名	具体的内容	炉方式					
			直火	間接	抵抗	誘導	アーク	左以外
加熱工程の短縮・省略化	プロセス・工程改善	プロセス省略化, プロセス低温化, プロセス統合化, プロセス低圧化。	1	1	1	1	1	1

中長期計画作成のための指針の別表 1 について

中長期計画作成のための指針の別表 1 においても、省エネ型工業炉のくくりは、野村総研と同様となっている。

ここで、抵抗加熱式の性能区分は炉壁外面温度となっているが、別表第 3 (B)では「強制的に冷却するもの」として除外されている。

種別	性能区分	基準値
燃焼式※ 1	廃熱回収率	判断基準の別表第 2 (B)の(2)に掲げる目標廃熱回収率の数値以上
	炉壁外面温度	判断基準の別表第 3 (B)に掲げる目標炉壁外面温度の数値以下
抵抗加熱式	炉壁外面温度	判断基準の別表第 3 (B)に掲げる目標炉壁外面温度の数値以下
誘導加熱式※ 1 ※ 2	受電端における力率	98%以上
	電力変換効率	90%以上

2.4 燃烧炉の非化石燃料対応への取組

- 個別企業による水素やアンモニア燃料の燃烧炉への適用のための開発が行われている。
- アンモニア燃料については NEDO の先導研究にも採択されている。(2020 年度：[リンク](#))
- NEDO「燃料アンモニア利用・生産技術開発／工業炉における燃料アンモニアの燃烧技術開発」(2021～2025 年度：[リンク](#))
- ガス会社においても脱炭素メタネーションの研究開発が行われている。([リンク](#))

2.5 エネルギー転換

2.5.1 電化

2.5.1.1 電力量・排出量について

足元の電源効率で、燃烧炉の電化単純シミュレーション（必要熱 1MW）

	燃烧炉	電気炉
出力 (MW)	1.3	1
時間当たり必要一次エネルギー (GJ)	4.80	9.76
時間当たり CO2 排出 (2019) (kg-CO2)	245.8	444
時間当たり CO2 排出 (2030 従来想定) (kg-CO2)	245.8	370
時間当たり CO2 排出 (2030 新想定) (kg-CO2)	245.8	230

燃烧炉 AH 率 70%で想定

足元の電源効率：9.76MJ/kWh（省エネ法 その他売電）

CO2 排出係数：0.444kg-CO2/kWh, 0.0512kg-CO2/MJ（2019 年）

0.37 kg-CO2/kWh (2030 従来想定), 0.23kg-CO2/kWh (2030 新想定)

足元では電化しても増エネ・増 CO2 である。新想定 of CO2 排出係数で電気炉が CO2 排出低減する。

2.5.1.2 工業炉の電化を阻害する要因

要因	課題概要	求められる対策
コスト	<ul style="list-style-type: none"> ・受電設備の増強など設備投資額が高む ・デマンド契約制度（基本料金のアップ） ・燃料費に対して割高（温度領域で異なる） 	<ul style="list-style-type: none"> ・受電設備も含ました設備投資への助成 ・電化に際して特別契約などの創設 ・カーボンプライシングも含め価格面の改正
評価基準	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネ法上の一次エネルギー換算係数 電気は全量を火力で発電されたとみなされるため ガス燃焼を電化すると増エネの扱いとなる 	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネ法上の制度改正 需要側の省エネとカーボンニュートラルの手法となる電化は区別されるものである
認識不足	<ul style="list-style-type: none"> ・脱炭素と電化の関係が結びつかない ・蒸気ボイラや燃焼器の効率の良いものとして認識 	<ul style="list-style-type: none"> ・脱炭素の手段としての電化に関連した普及啓発 ・具体的な省エネ計画につなげるための実態調査を促す手段として省エネ診断などへの助成
プロセス変更	<ul style="list-style-type: none"> ・被加熱物へ熱の伝え方が変わる その結果として、製品の性能や品質への影響が懸念される ・E-Fuel などのインフラが整備されることに期待 	<ul style="list-style-type: none"> ・プロセス変更に関する技術開発への助成 ・サプライチェーンに対する要求仕様の見直し ・足元の省エネ計画

2.5.2 燃転

鍛造用加熱炉でのシミュレーション

鍛造用加熱炉（バッチ） 年間 6,500 トン処理					
	ガス炉（高効率）		ガス炉（従来型）		重油炉
出力	2,800	kW	3,300	kW	3,300 kW
搭載する省エネ技術	レキユ				
処理量	25	t/日	25	t/日	25 t/日
年間操業日数	260	日	260	日	260 日
年間処理量	6,500	t	6,500	t	6,500 t
エネルギー源	ガス		ガス		A 重油
エネルギー消費原単位	1,150,000	kcal/t	1,230,000	kcal/t	1,370,000 kcal/t
年間エネルギー使用量	31,291	GJ	33,467	GJ	37,277 GJ
	807	kL	863	kL	962 kL
省エネ率	18	%	10	%	—
年間 CO ₂ 排出量*	1,549	tCO ₂	1,657	tCO ₂	2,583 tCO ₂
省 CO ₂ 率	40	%	29	%	

* CO₂ 排出量は以下で算出

天然ガス（液化天然ガス（LNG））：0.0495 tCO₂/GJ

重油（A 重油）：0.0693 tCO₂/GJ

https://www.j-lpgas.gr.jp/nenten/data/co2_ichiran.pdf

重油からガスへの燃転は省エネ及び省 CO₂ の効果が期待できる。特に省 CO₂ の向上率がたかい。

2.6 参考資料

2.6.1 燃焼炉の燃焼量区別のエネルギー使用量について

燃焼炉において、10MW 以上の炉の台数は全体の 6%であるがエネルギー消費の割合は 50%程度を占め、また 1 MW 以下となると、数量的には 3 割程度占めるが、エネルギー消費の割合は 5%程度と考えられる。

2.6.2 設備補助金等における低炭素工業炉の基準性能について

2017年3月14日付で以下の要望を素形材産業室に提出した。

平成 27 年度補正予算「中小企業等の省エネ・生産性革命投資促進事業費補助金」における低炭素工業炉の基準エネルギー消費効率（下表）が定められ、これに該当しない設備は対象となりませんでした。

種別	性能区分		基準値 (%)
燃焼式	加熱炉	連続	40%
		バッチ	20%
	熱処理炉	連続	40%
		バッチ	20%
	溶解炉	バッチ	30%
	抵抗加熱式	加熱炉	連続
バッチ			50%
熱処理炉		連続	30%
		バッチ	20%
溶解炉		バッチ	60%
誘導加熱式		加熱炉	連続
	バッチ		45%
	熱処理炉	バッチ	40%
	溶解炉	バッチ	60%

低炭素工業炉基準エネルギー消費効率

しかしながら、ある程度の種別や性能区分に区分けして基準値が設定されているとはいえ、工業炉の多様性はこれをはるかに上回る数のカテゴリーに細分化されます。結果として省エネ率が期待できるにもかかわらず、応募することができない状況が散見されました。

以上の状況に鑑みて、基準エネルギー消費効率にかえて、省エネ基準性能として下表に規定する水準が適切であると考えます。

種別	性能区分	基準性能
燃焼式*	排ガス損失率	別紙 A に掲げる数値以下
	炉壁損失	別紙 B に掲げる数値以下
抵抗加熱式	炉壁損失	別紙 B に掲げる数値以下
誘導加熱式*	力率	受電端における力率 95%以上**
	高効率機器の使用***	加熱用の電源にインバータ方式（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ又は酸化膜半導体電界効果トランジスタを使用したものに限る）を使用して電力制御を行うものうち、電力変換効率 90%以上のもの

* 燃焼式及び誘導加熱式に掲げるそれぞれ二つの性能区分は同時に満足しなければならないものとする。
** 省エネ法の「工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準」の（5-2）抵抗等による電気の損失の防止の①-ウに基づく。（別紙 C 参照）
*** 平成 25 年度までグリーン投資減税の対象設備に指定されていた（旧別表 4-6）「高効率電気式誘導加熱炉」の要件に基づく。

低炭素工業炉基準性能案

(別紙 A)

排ガス温度 (単位：℃) (注1)	容量区分 (注2)	基準性能 排ガス損失率 (単位：%) (注3)
600未満	A・B・C	20
600以上700未満	A	20
	B	20
	C	25
700以上800未満	A	25
	B	25
	C	25
800以上900未満	A	25
	B	25
	C	30
900以上 1,000未満	A	25
	B	30
	C	30
1,000以上 1,200未満	A	25
	B	30
	C	35
1,200以上	A	30
	B	40
	C	40

この排ガス損失率の基準性能は、省エネ法における「工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準」の「別表第2 (B) 目標廃ガス温度及び目標廃熱回収率 (Ⅱ 1 1 - 1 (3) ②及びⅡ 1 1 - 2 (2) ②関係)」の(2)「工業炉に関する目標廃熱回収率 (Ⅱ 1 1 - 2 (2) ②関係)」に基づいて設定した。

(注)

- 「排ガス温度」は、炉室から排出される排ガスの炉出口又はレキュペレータ入口における温度をいう。
- 工業炉の容量区分は次のとおりとする。
 - 定格容量が毎時 84,000 メガジュール以上のもの
 - 定格容量が毎時 21,000 メガジュール以上 84,000 メガジュール未満のもの
 - 定格容量が毎時 21,000 メガジュール未満のもの
- 「排ガス損失率」は、**定常操業時の負荷**で燃焼を行うとき、レキュペレータ出口（またはレキュペレータがない場合は炉尻）における排ガス顕熱量を供給燃料熱量で除した割合をいう。

(備考)

- 省エネ法の基準から変更している箇所を以下に示す。
 - 区分 C の下限 840MJ/h をなくした。(リジエネでの例が多いため)
 - 1200℃以上の区分を設けた(1,000℃の区分と同様では厳しいため)
 - 区分 C を 600℃以下においても区分 A,B 同一の基準で適用させた。(該当する炉種が相当数あると考えられるため)

(別紙 B)

炉内温度 (単位 : °C)	基準性能 炉壁外面温度 (単位 : °C)		
	天井	側壁	外気に接する底面
1,300°C以上	120	110	160
1,100°C以上 1,300°C未満	110	100	135
900°C以上 1,100°C未満	100	90	110
900°C未満	80	70	90

この炉壁外面温度の基準性能は、省エネ法における「工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準」の「別表第3 (B) 目標炉壁外面温度 (II 11-2 (2) ⑭関係)」と同一の基準である。

(備考)

1 この表に掲げる目標炉壁外面温度の値は、外気温度20°Cの下での定常操業時における炉の外壁面（特異な部分を除く。）の平均温度について定めたものである。

2 この表に掲げる目標炉壁外面温度の値は、工業炉の炉壁外面温度を強制的に冷却するものについては適用しない。ただし、可能なものについては、同表に準じて炉壁の断熱性を向上させるよう検討すること。

(別紙 C)

「工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準」

I - 2 - (5 - 2) 抵抗等による電気の損失の防止

①受変電設備及び配電設備の管理

ア. 略

イ. 略

ウ. 受電端における力率については、95パーセント以上とすることを基準として、別表第4に掲げる設備（同表に掲げる容量以下のものを除く。）又は変電設備における力率を進相コンデンサの設置等により向上させること。ただし、発電所の所内補機を対象とする場合はこの限りでない。

別表第4 力率を向上すべき設備（I 2（5 - 2）①ウ. , II 1 1 - 1（9）②及びII 1 1 - 2（5）④関係）

設備名	容量（単位：kW）
かご形誘導電動機	75
巻線形誘導電動機	100
誘導炉	50
真空溶解炉	50
誘導加熱装置	50
アーク炉	-
フラッシュバット溶接機（携帯型のものを除く）	10
アーク溶接機（携帯型のものを除く）	10
整流器	10,000

（備考）防爆形等安全性の面から適用が難しい設備を除く。

3 参考資料（国の政策）

3.1 第6次エネルギー基本計画

3.1.1 概要

2021年10月22日第6次エネルギー基本計画閣議決定（[概要](#)）。

- 2030年までに温室効果ガス対2013年比46%削減（さらに50%の高みを目指す（野心的目標））
- 2050年までに温室効果ガス排出実質0をめざす

3.1.2 エネルギー需給の見通し

（単位：万kl）

		2019年実績	旧目標	新目標（野心的）
省エネ	全体	1,665	5,030	6,200
	産業	322	1,042	1,350
	工業炉	137	291	374

		2019年実績		旧目標		新目標（野心的）	
電源構成 発電電力量： 10,650億 kWh ⇒ 約9,340 億kWh程度	再エネ	18%	太陽光 6.7%	22-24%	7.0%	36-38%	14-16%
			風力 0.7%		1.7%		5%
			地熱 0.3%		1.0-1.1%		1%
			水力 7.8%		8.8-9.2%		11%
			バイオマス 2.6%		3.7-4.6%		5%
	水素・アンモニア	0%	0%	1%			
	原子力	6%	20-22%	20-22%			
	LNG	37%	27%	20%			
	石炭	32%	26%	19%			
	石油等	7%	3%	2%			

電源コスト：旧目標 9.4~9.7円/kWh → 新目標 9.9~10.2円/kWh程度

3.1.3 需要サイドの取組として

1. 徹底した省エネ

産業部門では、ベンチマーク指標や目標値の見直し、省エネ技術開発・導入支援の強化などに取り組む。

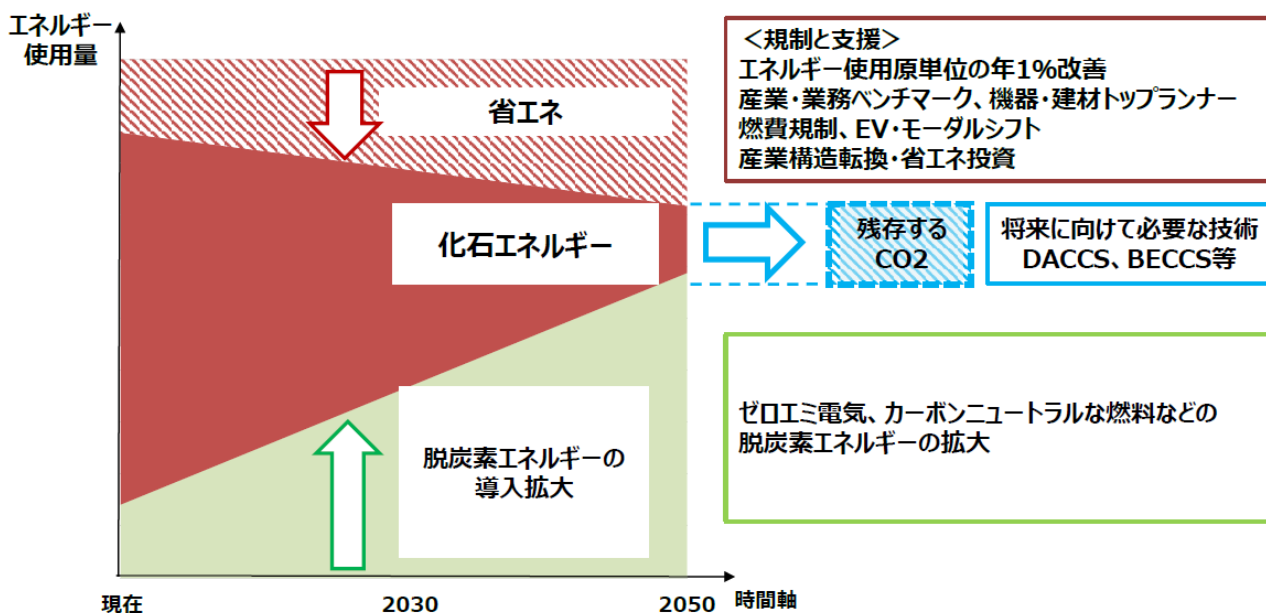
2. 省エネ法改正を視野に入れた制度的対応の検討

非化石エネルギーの導入拡大を促す規制体系への見直し、デマンドレスポンス対応

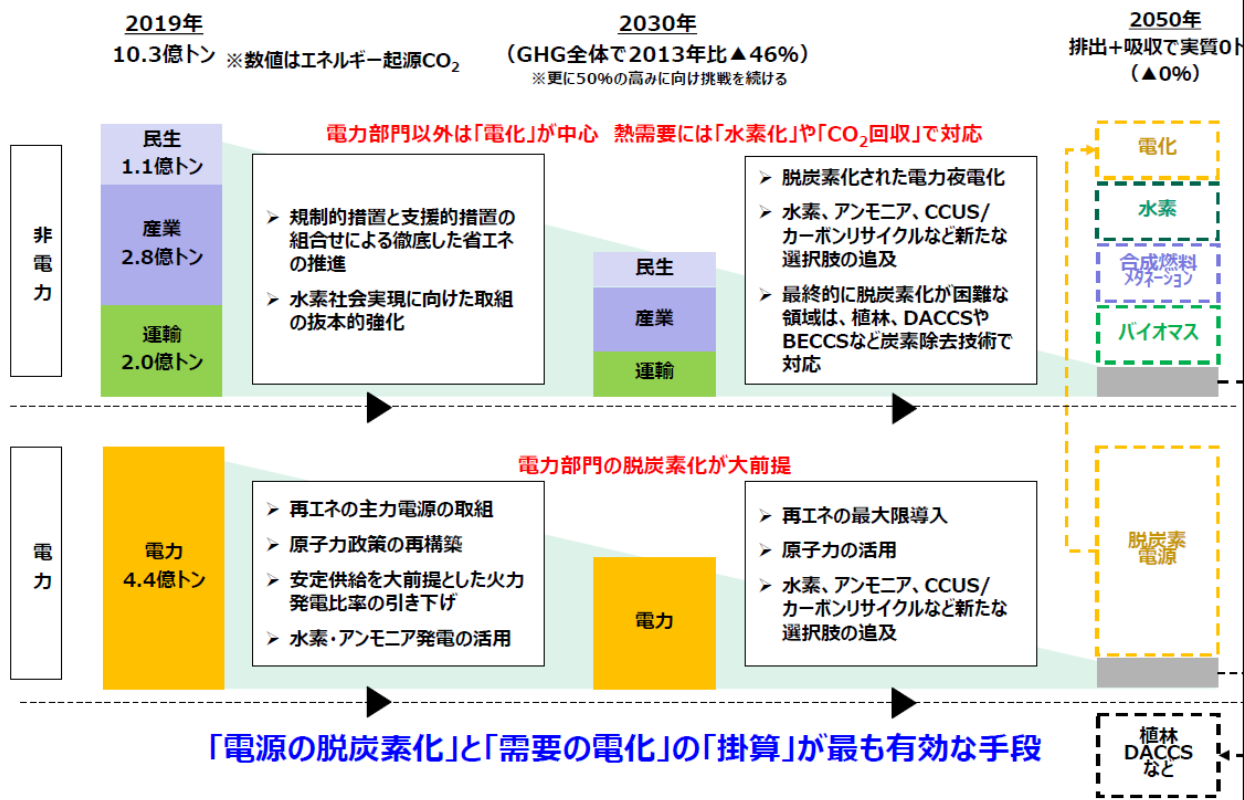
3. 蓄電池等の分散型エネルギーリソースの有効活用など

- 2050年カーボンニュートラルに向けては、徹底した省エネに加え、再エネ電気や水素等の脱炭素エネルギーの導入を拡大していくことが必要となる。
- 需要側において、引き続き省エネを進めつつ、供給側の脱炭素化を踏まえた電化・水素化等のエネルギー転換を促すべき。

■ 需要側のカーボンニュートラルに向けたイメージ

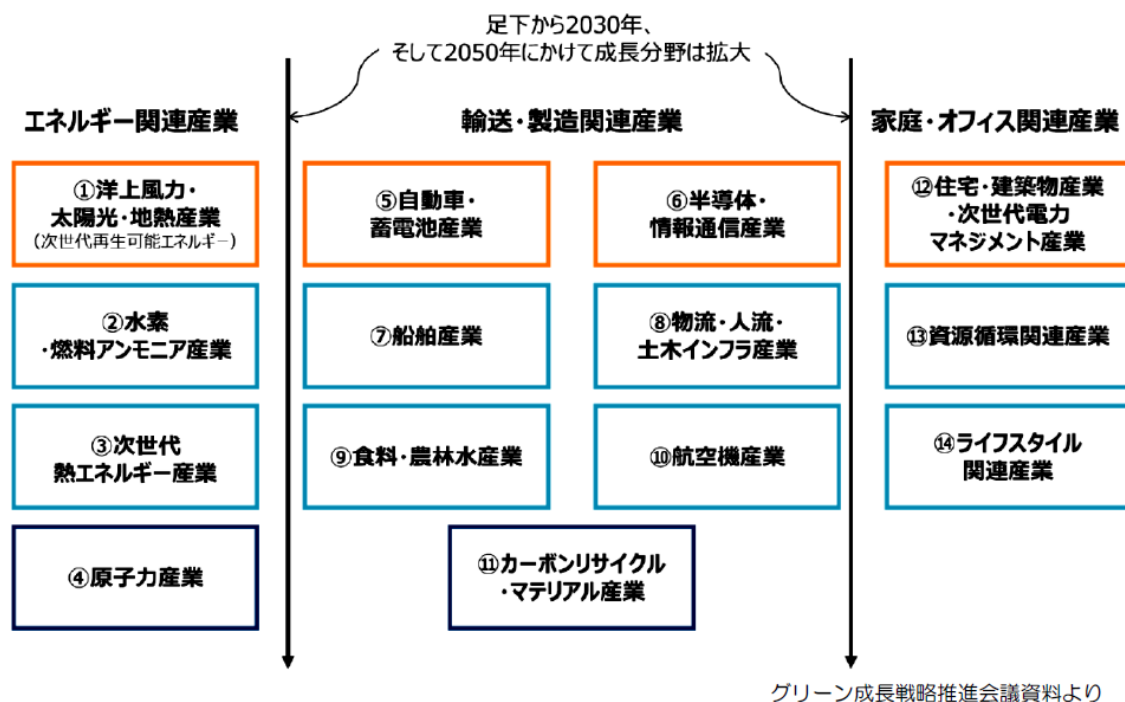


3.1.4 カーボンニュートラル転換イメージ カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略



3.1.5 グリーン成長戦略における分野ごとの「実行計画」

- グリーン成長戦略では14の重要分野を抽出し、各分野毎に実行計画を策定。



3.2 クリーンエネルギー戦略中間整理

3.2.1 概要

2022年5月13日、経済産業省は「グリーンエネルギー戦略 中間整理」を公開した。

[第8回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 グリーントランスフォーメーション推進小委員会／総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 2050年カーボンニュートラルを見据えた次世代エネルギー需給構造検討小委員会 合同会合](#)

【開催資料】

[議事次第 \(PDF形式：56KB\)](#) 

[委員等名簿 \(PDF形式：127KB\)](#) 

[配布資料一覧 \(PDF形式：56KB\)](#) 

[資料1 「グリーンエネルギー戦略 中間整理」 \(事務局提出資料\) \(PDF形式：9,788KB\)](#) 

[資料2 「第八回 CES 会議メッセージ」 \(重竹委員提出資料\) \(PDF形式：174KB\)](#) 

[参考資料 「新・素材産業ビジョン 中間整理」 \(事務局提出資料\) \(PDF形式：4,654KB\)](#) 

[議事録 \(PDF形式：508KB\)](#)

3.2.2 「クリーンエネルギー戦略 中間整理」における工業炉にとってのポイント（一章）

3.2.2.1 中小事業者の省エネ取組の深堀（省エネ・燃料転換）

P.25

- 省エネ法による規制のもと、エネルギー多消費事業者の省エネは既に相当程度進展。
- 他方で、中小事業者については、全体として経済的に合理的な範囲で 10%前後の省エネ余地あるが、知見・ノウハウや人材の不足等が課題で進んでいない。
 ※ 例えば、ヒートポンプやコージェネレーション等については、高い省エネ効果が期待されるものの、高度なエンジニアリングが必要となることから、中小企業における導入は限定的。
- 中小企業の省エネの促進に向け、中小企業と接点を持つ事業者等による支援体制の構築（より詳細なエネルギー診断等）を進めていく。

3.2.2.2 産業部門における温度帯別熱需要を踏まえた今後の対応（省エネ・燃料転換）

P.27

- 脱炭素化を進める上で、熱利用効率化・未利用熱活用等、熱の有効活用は引き続き重要。
- 低温域の蒸気需要については、ヒートポンプへの転換が有力な選択肢だが、適用温度域が限定的である点や、事例の横展開が進んでいない点、設備費用が高額である点などが課題となっているため、これらの課題を整理した上で、高効率ヒートポンプ開発・実証（温度域の拡大）や、導入拡大に向けた設備投資支援を行う。
- 一方で、ヒートポンプの導入が困難である中高温域については、中長期的な電源構成やコスト等を考慮の上、電化や非化石燃料への転換などのうち適切な選択肢に対して、必要な支援策を講じる。

温度帯	熱源の脱炭素化に向けて取り得る対応の方向性	時期
全体	● 熱利用効率化・未利用活用、連携省エネの推進、中小企業支援の強化	足下から
200℃以下（蒸気）	● ヒートポンプ普及支援・技術開発	足下から
100～1500℃付近	● 電源の脱炭素化 + 電化	2030年以降
	● 水素・アンモニア・合成メタン・バイオマス燃料等非化石燃料の活用／既存燃料との値差を踏まえた支援	足下～2030年以降
	● 天然ガスシフト→非化石燃料への転換／既存燃料との値差を踏まえた支援	足下～2030年以降
2000℃付近	● 技術革新（水素還元製鉄等）／既存燃料との値差を踏まえた支援	2030年以降

ポイント：中間整理においては、工業炉プロセスの温度帯である 100～1500℃付近について、電源の脱炭素化 + 電化は 2030 年以後（実施）の位置づけとされた。

3.2.2.3 水素・アンモニア導入拡大の必要性（水素・アンモニア）

P.41

【電力分野】

再エネの変動性を補う調整力・供給力として必要となる火力発電の脱炭素化が急務である中、非常に燃えやすい水素はガス火力、燃焼速度が比較的遅いアンモニアは石炭火力の脱炭素化の鍵となる。

【非電力分野】

エネルギー密度の高いアンモニアは、国際輸送など、長距離を移動する船舶分野の脱炭素化に加え、産業分野での熱利用の燃料として有用。水素は、水素還元製鉄やメタノールなど基礎化学品の合成といった産業プロセスの原料など様々な用途で利用出来るポテンシャルを有する。

水素・アンモニアの用途

用途（大分類）	用途（中分類）	水素	アンモニア
電力	石炭火力への混焼・専焼		○
	ガス火力への混焼・専焼	○	
非電力 (燃料)	熱利用（工業炉等）	○	○
	船舶用等のエンジン	○（短～中距離）	○（長距離）
	モビリティ・定置用等の燃料電池	○	
非電力 (原料)	水素還元製鉄	○	
	基礎化学品合成	○	

3.3 省エネ法改正（2022年）

3.3.1 改正省エネ法の概要

- ① エネルギーの使用の合理化の対象範囲の拡大【エネルギーの定義の見直し】
 - 省エネ法の「エネルギー」の定義を拡大し、非化石エネルギーを含む全てのエネルギーの使用の合理化を求める枠組みに見直す。
 - 電気の一次エネルギー換算係数は、全国一律の全電源平均係数を基本とする。
- ② 非化石エネルギーへの転換に関する措置【新設】
 - 特定事業者等に対し、非化石エネルギーへの転換の目標に関する中長期計画及び非化石エネルギー使用状況等の定期的報告を求める。
 - 電気事業者から調達した電気の評価は、小売電気事業者（メニュー）別の非化石電源比率を反映する。
- ③ 電気の需要の最適化に関する措置【電気需要平準化の見直し】
 - 電気の需給状況に応じた「上げ DR」・「下げ DR」促進のための電気の一次エネルギー換算係数の設定等により、再エネ出力抑制時への需要シフトや需給逼迫時の需要減少を促す枠組みを構築。
 - 電気事業者に対し、電気需要最適化に資する料金体系等の整備を促す枠組みを構築。（現行の需要平準化に資する料金体系の整備に関する計画の作成等の義務の見直し）
 - 電気消費機器（トッパーナー機器）への電気需要最適化に係る性能の向上の努力義務（現行の需要平準化に資する性能の向上の見直し）

以上を踏まえ、法律名を「エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律」に見直し。
 (令和4年5月13日 第208回通常国会で成立)

3.3.2 エネルギー換算について

3.3.2.1 概要

- 省エネ法では、原油、石炭、熱、電気等の全てのエネルギーを熱量換算した上で、一次エネルギー換算（原油換算）して、エネルギー使用量を算出することとしている。
- 熱量換算値はエネルギー種ごとに定められ、原油換算値は固定値を使用している。



省エネ法によるエネルギー換算のイメージ

3.3.2.2 今後の検討事項

1. 化石燃料
 - 化石燃料の熱量換算係数については、総合エネルギー統計の値と合わせ、最新値に見直す方針。
2. 非化石燃料
 - 非化石燃料の熱量換算係数については、総合エネルギー統計の値に準拠し、水素・アンモニアの熱量換算係数については、理科年表等を踏まえて設定する。
 - なお、非化石燃料については、この他にも様々な種類の物があると考えられるため、今後、事業者における活用実態を踏まえ、種類の追加や指標の見直しを検討する。

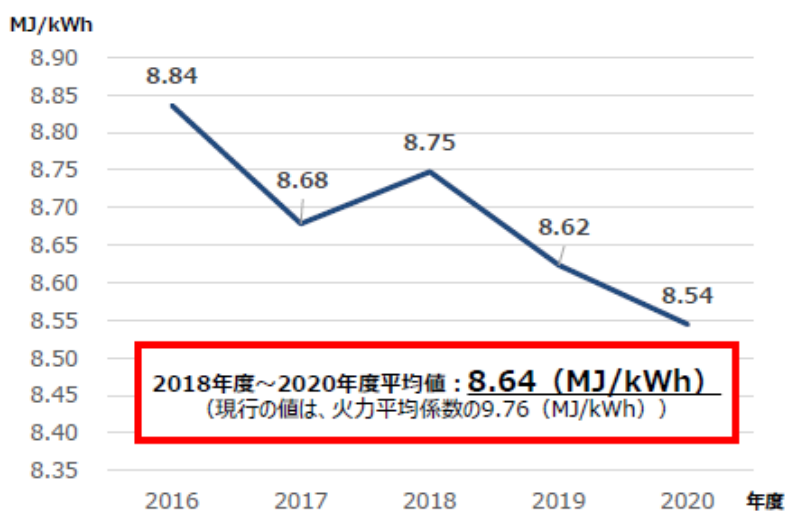
非化石燃料の熱量換算係数

項目	計量単位	熱量換算係数 (GJ/計量単位)
廃材	絶乾重量 t	17.06
黒液	絶乾重量 t	13.61
木材	絶乾重量 t	13.21
バイオ燃料（エタノール、ディーゼル）	kl	23.42
バイオガス	千m ³	21.16
RDF（Refuse Derived Fuel）	t	18
RPF（Refuse paper and plastic fuel）	t	26.88
廃プラスチック	t	29.3
廃タイヤ	t	33.2
再生油	kl	40.2
廃棄物ガス	千m ³	21.16

水素	t	142
アンモニア	t	22.5

3. 電気の一次エネルギー換算係数について

- 電気の一次エネルギー換算係数は、直近3年間（2018年度～2020年度）の全電源平均係数で算定する。
- 見直しの周期については、令和3年6月30日の省エネルギー小委員会で提示したとおり、電気換算係数の変動による事業者への影響を踏まえ、エネルギーミックスの進捗を踏まえて適切に対応する。



全電源平均係数の試算

- ・総合エネルギー統計の時系列表の電源構成（発電量・投入量）を用いて、各電源の発電効率を算出。
- ・発電効率は、非燃焼再エネ（地熱含む）：100%/原子力：33%（所内損失率控除後）/バイオマス：火力平均相当で置換え
- ・全体に総合損失率（5.1～5.5%）を乗じて算出している。

4 まとめ

今回の調査内容は、以下の通り。

- ① 工業炉の加熱方式と既存の省エネルギー技術の区分を明らかにした。
- ② 燃烧炉の非化石燃料への取り組み状況をまとめた。
- ③ 将来のエネルギー転換における電化および燃料転換時の CO2 排出量の削減効果の推算値を提示した。