経済産業省

資料４－１

# 今後の火力政策について

２０２２年　３月２５日

資源エネルギー庁

# 本日の御議論

- 第44回電力・ガス基本政策小委員会（1月25日）において、火力発電の脱炭素化に向けたロードマップの作成に関する議論を開始。
- 前回（2/25）の本小委員会では、今後の火力政策の検討課題のうち、脱炭素化について、ロードマップの具体的イメージや検討に当たっての留意点を御議論いただくとともに、脱炭素燃料のポテンシャルや港湾を中心とするインフラ整備の取組状況を御報告の上、今後の進め方を御議論いただいた。
- 今回は、前回の議論を踏まえてロードマップの大きな枠組みと考え方を示しつつ、これについてご議論いただきたい。
- また、これまでの本小委員会で未議論の老朽火力や発電所のデジタル化・AI活用の現状や、これまでに御意見いただいた自家発電について、製造分野のカーボンニュートラルに向けた取組の現状を紹介の上、今後の進め方を、ご議論いただきたい。

# 委員のご意見

- 火力政策についてロードマップを10年単位で検討というのは賛成。技術開発はステージ毎変わってくる。
- 燃料の脱炭素化についてアンモニアポテンシャルを示して頂いたが、今後の事業化の検討の発射台と理解。試算に過ぎない発射台ということだが、開発状況によって見直しはされると思うが柔軟に対応いただきたい。また、ユーザーは発電のみならず自家発もあるので柔軟に対応いただきたい。
- 港湾インフラは複数事業者が使うことになる。今までのこのような港湾設備はどのように進められていたのか、違いを示すのはこれからと理解。
- いずれの事案も今後の投資は必要な一方、それぞれ積み上げると膨大なコストが国民負担に直結。コスト低減策も併せて検討してほしい。
- 火力の脱炭素に向けたロードマップについて、日本は欧州などから厳しい目を向けられる中で、S＋３Eの観点で火力が重要である点も示すべき。混焼や専焼に向けた動きを具体的に示すべきだが、導入状況等も踏まえ見直しを。
- アンモニアポテンシャルについて、安価で安定的な供給力は解決された上のポテンシャル。企業導入されるために、発信に意義がある。CNに向けて必要になるアンモニア量は火力の混焼だけでも膨大な量。海外からの獲得のため、企業としても取り組むが、単体で難しいところは政府のバックアップが必要。
- 水素・アンモニアについて今後深掘りしていく際、効率的なサプライチェーン、需要側のバリューチェーンを見据えた上での水素・アンモニアの調達を考えていただきたい。
- 火力政策においてもう少しCCSが強調されるべき。2030年までにどのくらいできるかしっかりロードマップを描いて、力強く進めていただきたい。
- 国際連携については2国間クレジットを含め、他国とも連携して制度を作っていくという姿勢が重要。
- 電源の起動計画を広域的にどのように見ていくのか、今後の検討課題、考えていく必要があると思う。

# 委員のご意見

- エネ基で書かれたから規定路線だと決めつけられては困る。脱炭素化として重要なピースであることは変わりないが、民間の事業者も努力して効率化に進んでいるということが大前提。当然国に支援してもらえると思って欲しくない。
- 水素・アンモニア、CCSについて、マテリアルの有識者会議の座長もやっているが、こういった類のものは、技術開発と実証まではうまくいくが、社会実装の段階で、必要量（規模）の問題やそれに対応した設備をどうするか、コストアップにどう対応するかといった壁にぶつかり、二の足を踏むケースが多い。政府で2兆円基金もやっているが、世界と比べたら規模が小さい。グリーバルなネットワークの中でどう連携し、自国でどこまでやるのかということが重要。イメージだけがあって前に進まないということにならないようにしていただきたい。
- ロードマップについて、実際に脱炭素につながるのかということも見据えながら、世界を見据えた実現性のあるものにしていただきたい。
- 電力データの活用については、個人情報を含む機微なテーマであるため、社会的に利用できるものとそうでないものを分け、詳細に利活用をご検討いただきたい。

# （参考）今後の火力政策について（検討課題）①

第44回電力・ガス基本政策小委員会
（2022/1/25）資料5-1

【役割・機能】

- 電力の安定供給に欠かせない供給力、調整力、慣性力は、現在、主に火力発電が担っている。今後、脱炭素化を進める中で、どのような時間軸で、どのような電源等が代替していくと考えられるか。供給力、調整力、慣性力の中で、代替可能性に差はあるか。
- 従来型の火力発電以外の電源等による供給力、調整力、慣性力を高めていくため、どのような取組が求められるか。例えば、現行の容量市場や需給調整市場を通じ、将来にわたり必要な供給力、調整力、慣性力を確保していく上で、どのような対応が考えられるか。

【脱炭素化】

- 2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、電力の安定供給を確保しつつ、火力の脱炭素化を着実に進めていく必要がある。そのような長期にわたる脱炭素化の道筋を明確にするため、例えば、2050年の将来像を示しつつ、段階的な脱炭素化の行程を示すロードマップの作成を検討することとしてはどうか。
- アンモニア・水素等の脱炭素燃料の実用化に向けて、脱炭素燃料の製造から輸送、利用までのサプライチェーンを構築していくための検討が進められている。今後、こうした動きを加速するため、競争力ある価格の実現を前提に、火力発電においてどの程度の脱炭素燃料の利用が見込まれるか、具体的な検討を進めていくこととしてはどうか。
- そうした検討の中で、将来的に脱炭素燃料の利用が見込まれる他の産業と連携しつつ、港湾設備の整備等の必要なインフラ整備についても検討を深めていくこととしてはどうか。

# （参考）今後の火力政策について（検討課題）②

第44回電力・ガス基本政策小委員会
（2022/1/25）資料5-1

- 燃料の脱炭素化による火力発電のゼロエミ化は、日本単独で進めるのではなく、共通の課題に直面する他の国々と連携して進めていくことが重要である。このため、特に火力発電への依存度が高いアジア諸国を巻き込みつつ、徒な火力発電の延命でない点についての理解活動を進めるなど、国際的な視点で取組を進めていくこととしてはどうか。

【安定供給確保】

- 再エネの導入拡大に伴い、変動再エネの出力変動を調整する火力発電の稼働率は、低下傾向にある。今後、こうした傾向がより顕著になると見込まれる中で、電力市場や電力分野の規制の在り方について、どのような検討が考えられるか。例えば、稼働率が低いが需給逼迫時に欠かせない火力について、どのような対応が考えられるか。
- 脱炭素化の進展に伴い、資源燃料の開発分野での寡占化が進む一方、世界的な経済回復による需要増に伴い、昨年来、燃料価格が高騰している。当面、こうした燃料価格の高騰可能性が解消しない中で、日本全体として燃料調達におけるバーゲニングパワーをどのように確保していくか。その際、官民の役割分担について、どのように考えるか。
- 世界的に火力発電に対するファイナンスを制限する動きが広がりつつある中、国内では電力分野のトランジション・ロードマップの作成を進めている。今後、脱炭素化を着実に進める一方、当面は安定供給に欠かせない火力発電について、必要なファイナンスをどのように確保していくか。その際、官民の役割分担について、どのように考えるか。

# （参考）今後の火力政策について（検討課題）③

- 火力発電の将来に対する不確実性の増大により、電力会社及びメーカーの双方で火力分野の専門人材が減少している。こうした課題に対応し、どのように火力分野の人材育成・確保を図っていくか。また、人材不足を背景に、電力需要の多い夏冬から他の時期への補修点検時期の調整が難しくなりつつある中で、どのような対応が考えられるか。
- AI等を活用したデジタル化は、火力発電の効率化に資するのみならず、人材不足対応さらにはコロナ対応としても有効である一方、将来への不確実性から電力会社は新規投資を躊躇する傾向にある。こうした中で、セキュリティの確保を大前提に、どのように発電分野のデジタル化を促進していくか。

# １．火力の脱炭素化に向けたロードマップの作成

２．火力発電の老朽化の現状

３．発電所におけるデジタル技術の活用の現状

４．製造分野（自家発電）のCNに向けた取組の現状

# 火力の脱炭素化に向けたロードマップの作成

- 前回（2/25）の本小委員会で、火力の脱炭素化に向けたロードマップの作成に向けた具体的なイメージについて議論いただいた。
- その際、「2050年までの絵姿を時間軸を切って示すべき」、「S＋３Eの観点で火力の重要性を示すべき」、といったご意見があった。
- 本日は、前回いただいたご意見を踏まえたロードマップのイメージ図を示しつつ、ロードマップに盛り込む具体的な内容について御議論いただきたい。

【ロードマップの位置づけ】

- 本ロードマップは2050年カーボンニュートラルに向けて、**火力発電がどのような時間軸でどのような役割を果たすべきかについて、その絵姿を示すもの**。
- 火力発電の脱炭素化に**不可欠な脱炭素技術について、現時点でその動向を見通すことは難しい**。したがって、本ロードマップも、それら**技術の動向に合わせて随時見直しを行う**。

【ロードマップのポイント】

- 現実的な脱炭素化を進めるためには、**電力システム全体における火力電源の役割を明確に位置付けることが重要**。
- 個々の燃料種ごとに、時間軸を示してその絵姿を示すべき。
- 電力システムの脱炭素化は、**火力電源とそれ以外の電源や系統全体が、それぞれを補完し合う形**で統合されることによって実現される。したがって、**再エネや原子力、系統、需要といった、火力電源を取り巻く外部環境についても、何らかの前提を置く必要**がある。
- なお、化石火力電源の低減に向けた取組は、**非化石電源の導入拡大や安定供給の確保に向けた対策が十分に講じられていることを確認**しながら進めていくことが重要である。

# 火力の脱炭素化に向けたロードマップの作成

第45回電力・ガス基本政策小委員会
（2022/2/25）資料4-1

- 前回（1/25）の本小委員会において、2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、電力の安定供給を確保しつつ、火力の脱炭素化を着実に進めていく道筋を明確にするため、ロードマップを作成する方針をお示しした。
- 今後、ロードマップ作成に向けた検討を深めていくに当たり、ロードマップの具体的なイメージについて、どのように考えるか。
- 例えば、ロードマップのゴールとなる2050年の将来像について、どのように考えるか。エネルギー基本計画の検討過程においては、2050年の電源構成の参考値として、脱炭素火力は原子力と合わせて約4～5割との数字が示されており、これをメルクマールとした場合、どのような2050年の将来像が考えられるか。
- また、2050年までの約30年間を３つの時期（～2030年、～2040年、～2050年）とした場合、それぞれの時期に応じた定量的な目標として、どのようなものが考えられるか。例えば、2040年の脱炭素火力の比率について、どのように考えるか。
- 通常、エネルギー分野における新たな技術の開発から商用化には長期間を要する一方、商用化された技術は、事業者が収益性を見通した場合には急速に普及し得る点は、2050年にかけての道筋を検討するに際し、どのように考慮することが考えられるか。その際、ロードマップが課題の先送りとならないようにするためには、どのような工夫が考えられるか。
- 火力の脱炭素化を進める上で、CO2排出量に関する環境性に加え，電源特性や経済性，燃料調達の柔軟性など、LNG火力と石炭火力の差異をどのように考慮することが考えられるか。例えば、排出削減対策が講じられていない石炭火力の脱炭素化の進め方について、どのように考えるか。

# 2050年に向けた火力発電のロードマップ（イメージ案）

※現時点ではイメージ案であり、今後の議論を踏まえ修正されていくもの。

| | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|
| 脱炭素技術の活用フェーズ | フェーズ①（-30年）<br>混焼化 | フェーズ②（-40年）<br>アンモニア・水素発電化 | フェーズ③<br>ゼロエミ化 |
| 天然ガス | GI基金による実機実証（～2025年）<br>水素<br>37% → 20% | 高混焼 | 専焼化 |
| 石炭 | NEDO実証で実装試験中（～2024年20%混焼）<br>アンモニア<br>32% → 19%<br>非効率石炭火力のフェードアウト | 高混焼 | 専焼化 |
| 石油 | 7% → 2% | | |
| | アンモニア・水素 1%程度 | | アンモニア・水素 1～2割程度 ＋ 残存する化石火力はCCUS付 |
| 火力の役割 | • 供給力、調整力、慣性力を提供する主要な電源 | • 再エネ導入量の拡大に伴い、供給力としての役割は減少<br>• 2050年時点において調整力/慣性力として火力発電に求められる容量を見極め、電源投資に反映<br>• バックアップ電源としての容量を確保しつつ退出を進める | • 火力発電は、アンモニア/水素へと転換もしくはCCUS導入を進める<br>• 引き続き脱炭素火力には供給力、調整力、慣性力の機能が求められる |
| （外部条件） | 再エネ 36~38%<br>原子力 20~22% | • 再エネ比率の更なる拡大<br>• 蓄電池の普及<br>• 系統の高度化<br>• 電化の促進 | → |

１．火力の脱炭素化に向けたロードマップの作成

**２．火力発電の老朽化の現状**

３．発電所におけるデジタル技術の活用の現状

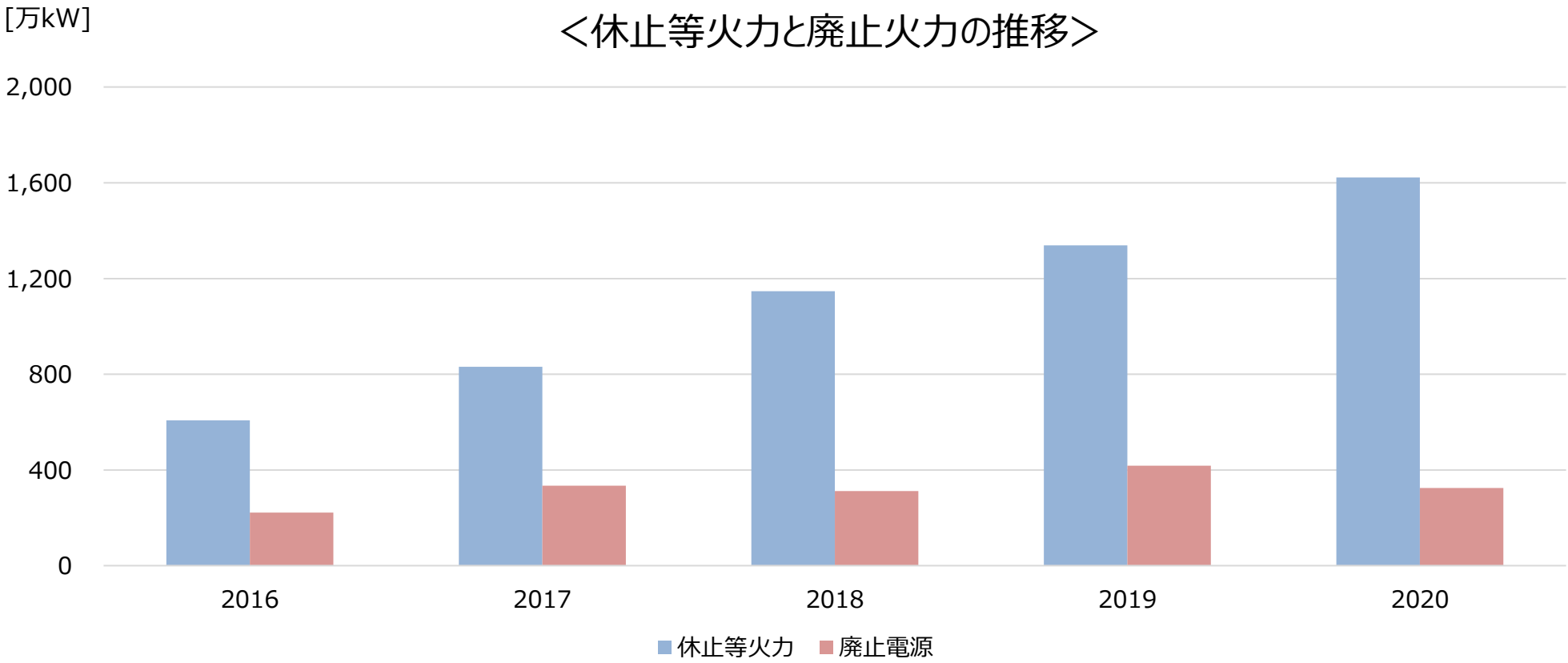
４．製造分野（自家発電）のCNに向けた取組の現状

# 休止等の火力電源について

- これまで、本小委員会における**中長期的な安定供給の確保に向けた検討**においても、**休止電源の意義・役割**について御議論いただいた。
- 今般、大手電力会社を対象に**休止等火力電源の維持等に係るコスト**や、**これら火力電源を再稼働させるためのリードタイムやコスト**について、実態のヒアリングを行った。
- この結果を踏まえ、今後の火力政策の検討おいて**脱炭素化と安定供給の両立を基本**としている中で、休止等火力電源の位置づけについてどう考えるべきか。

# （参考）休止等火力と廃止火力

- 電力自由化の進展や脱炭素化等を背景に、近年、**火力発電の休廃止は増加傾向**。
- **2016年度からの5年間**、**休止等状態の火力が増加**しつつ、**毎年度200万～400万kW程度の火力発電が廃止**となっている。

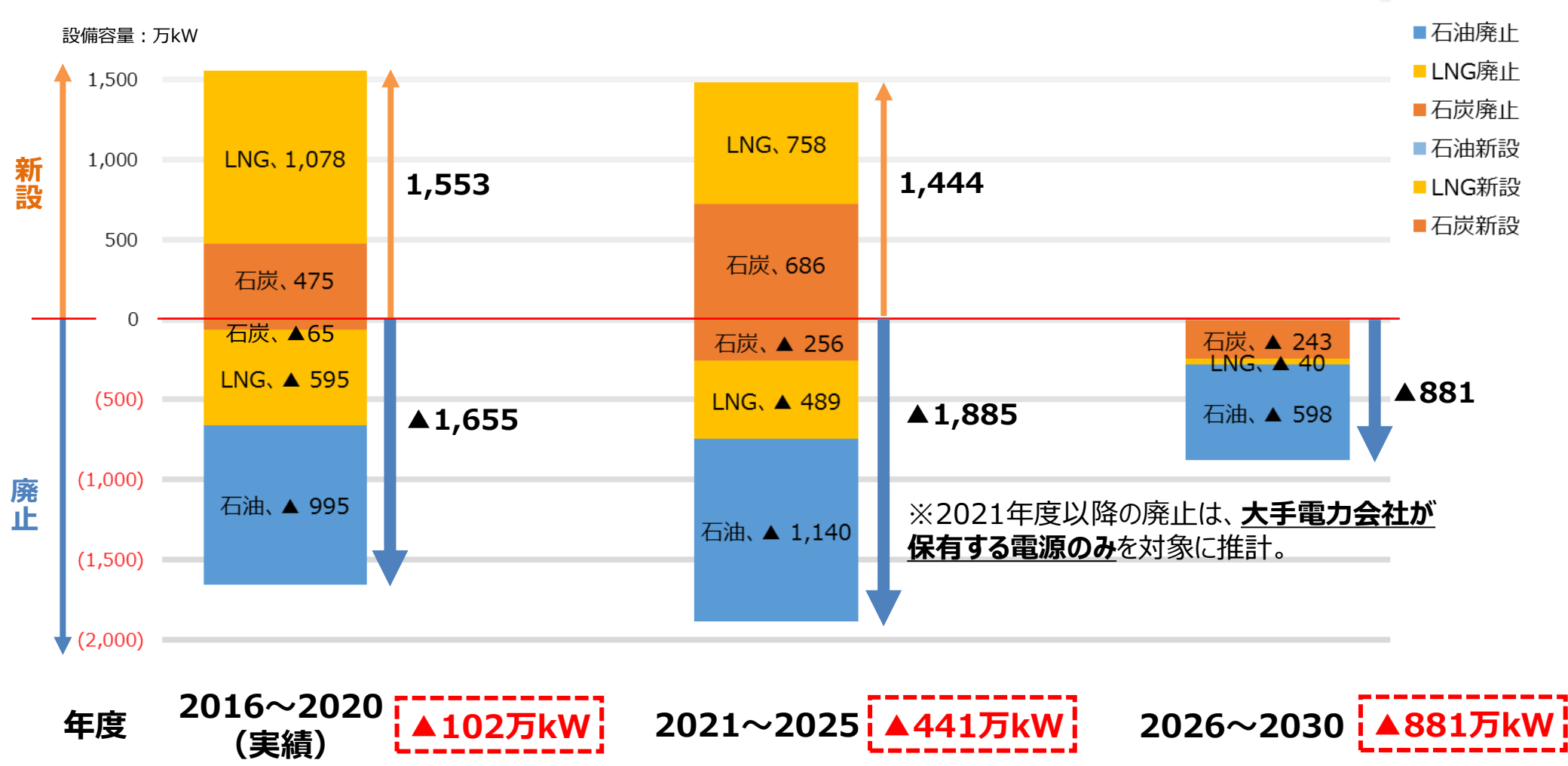



※各年度の供給計画を元に資源エネルギー庁で集約。
※休止等火力とは「長期計画停止」または「休止等（長期計画停止、通常運転及び廃止以外すべて）」に分類されている設備を示す。
※休止等火力は当該年度に休止等状態にあるもの、廃止電源は当該年度に廃止となった電源。

# （参考）今後10年間の火力供給力（調整力）の増減見通し

第35回総合資源エネルギー調査会　基本政策分科会
（2020年12月21日）資料1

- 今後も、**主に緊急時に活用**されていた**石油火力発電設備の廃止が継続**する見込み。
- 当面は火力の新設計画も予定されている一方、**供給力全体としては減少傾向**にあり、稼働率低下や卸電力取引市場の価格の低迷に伴う採算性悪化から、さらに加速する懸念。




| 年度 | 2016～2020（実績） | 2021～2025 | 2026～2030 |
|---|---|---|---|
| | ▲102万kW | ▲441万kW | ▲881万kW |

注１．2016～2020年度：新設実績は資源エネルギー庁「石炭火力発電所一覧」および電気事業便覧（2019年版）、廃止実績は各年度供給計画より。
注２．2021年度以降（新設）：2020度供給計画とりまとめにおける、2029年度までの火力新設計画より（大手を含む全事業者）
注３．2021年度以降（廃止）：大手電力が保有する電源のうち、運転開始から**45年経過した電源＝廃止**と仮定。

# （参考）中長期的な安定供給確保に向けた検討課題①

第45回電力・ガス基本政策小委員会
（2022年2月25日）資料3-2

（休止電源の意義・役割）

- 従来、旧一般電気事業者は、安定供給の観点から、電力需要のピークに合わせて十分な稼働電源を維持し、そのコストは規制料金から回収されていた。
- 2016年の小売全面自由化後、電源の大半を有する旧一般電気事業者は稼働電源を必要最小限に絞る一方、休止電源を増やす傾向にある。また、ここ数年、卸電力市場価格の低下が続いた中で、こうした傾向がより顕著となってきた。
- 休止電源の具体的な内訳は様々であり、10年以上休止中のものもあれば、休止直後のものもある。いずれの場合にも、維持管理等に相応のコストを要する点は共通しており、各事業者がコスト削減を進める中で、今後は休止電源の廃止が進む可能性が高い。
- こうした中で、休止電源の意義・役割について、どのように考えるか。例えば、一定の条件の下で稼働することが可能となり得る休止電源のリスクバッファーとしての意義は、2024年度の容量市場の運用開始前後でどのように変化すると考えられるか。
- 容量市場における落札電源は毎年変動するため、容量市場の運用開始後は、市場競争活性化の観点からも、稼働電源と休止電源の区別が従来以上に重要になると考えられる。このため、今後の検討に向けて、休止電源の稼働可能性や維持管理コストなど、実態を調査することとしてはどうか。

# 休止等の火力電源に係るメンテナンスとコスト

- 発電所の設備を休止や長期計画停止にする場合、**①休止措置（保管作業）**と、**②休止中の維持管理作業**、が発生する。
- 休止状態にするために、ボイラーやタービン等の設備は窒素封入等の措置を講じるが、電源確保に必要な起動変圧器、開閉所等の受電設備、保安上必要な消火・防災設備等については、**休止中も運転継続が必要なため、電源稼働時と同様の定期的な点検の実施が必要となる。**
- 大手電力へのヒアリングによると、休止措置に数億円/回、休止中の維持管理に数億円/年のコストがかかるとの回答が多かった※。

| | |
|---|---|
| ①休止措置<br>（保管作業） | • ボイラーやタービン等の窒素封入<br>• 湿潤防止・腐食防止措置<br>• 火災・凍結防止のための電源、系統の縁切り<br>• 油や薬品等危険物の管理を不要とするための安全対策工事　等<br>【想定コスト：数億円/回※】 |
| ②休止中の<br>維持管理作業 | • 保安上必要な、消火・防災設備や航空障害灯、非常電源装置、開閉装置、通信設備等のメンテナンス・巡視点検<br>• ボイラーやタービン関係、電気関係（発電機、励磁装置、開閉装置）、自動制御装置などの定期的な点検　等<br>【想定コスト：数億円/年※】 |

※ユニットの燃種、規模、再稼働の可否等によりコストは異なる。

**参考コスト**

火力発電を廃止する場合：**約30億円程度以下（50万kW級以下の場合）**、1～2年程度。（参考：「原子力発電所の廃炉に係る料金・会計制度の検証結果と対応策」（H25.9）
稼働している場合：**36億円/年**（石炭、LNG、石油火力の運転維持費の平均）（参考：「発電コスト検証に関するとりまとめ（案）」（R3.8）

# 休止等の火力電源を再稼働させる際のリードタイムとコスト

- 一度休止させた火力電源を再稼働させる場合、設備の補修箇所の選定、部品の発注から調達、大規模な修繕工事、試運転等による検査が必要となるため、**1年以上のリードタイムが必要**。
  ※休止期間が長引けば、設備の劣化も拡大するため、復旧期間とコストはさらに増加。
- 再稼働の期間によって、再稼働させるために必要なプロセスは変わらないため、リードタイムやコストはほとんど変わらない。
- また、休止時に一度削減した**人員の確保**や**運転技術の継承、資材の確保等**が懸念されることに加え、休止させた火力電源は主に経年火力であり、運転再開後の設備信頼度についても懸念される。

| | |
|---|---|
| 再稼働までに必要なプロセス | • 設備の点検<br>• 補修箇所の選定<br>• 必要な資材、部品の調達<br>• 補修工事、設備更新<br>• 試運転を含めた定期事業者検査　等 |
| リードタイム | 1年以上<br>※あくまで標準的な期間であり、設備の状態や停止期間によって2～3年かかる場合もある。 |
| コスト | 数十億円程度 |
| 懸念事項 | • 保守要員の確保<br>• 当該設備の運転管理に精通した運転員の確保、運転・運用関係の技術技能継承<br>• 燃料の確保<br>• 資材の確保　　等 |

※ユニットの燃種・規模や、停止時の条件、停止期間等により工期、費用は大きく異なる。

１．火力の脱炭素化に向けたロードマップの作成

２．火力発電の老朽化の現状

**３．発電所におけるデジタル技術の活用の現状**

４．製造分野（自家発電）のCNに向けた取組の現状

# デジタル技術の活用の現状

- 電力各社においては、直近の数年間にかけて、**競争力や安全性の向上に向けて、ビッグデータ分析等のデジタル技術を活用する取組**が進んでいる。

  - **競争力の向上の事例**
    ・AIを活用して**ボイラー状況を監視し、制御を細かく補正**。石炭投入量の変動を抑制することで発電効率を向上し、**年間5億円の燃料費と10万トンのCO2排出を削減。**
    ・ボイラの熱効率が良好な時の運転データ等と現在の運転データを比較し、**熱効率が低下する要因を特定**した上で、燃料や空気、水の投入量といった運転条件を変更したりすることにより**熱効率を向上**。
    ・人工知能を活用し、石炭の産地や種類により異なる特性を踏まえて、**輸送船の入港スケジュール、バースや貯炭場等の最適な運用を計算**することで、**最適な燃料の運用を実現**。

  - **安全性の向上の事例**
    ・異常の早期発見や故障の未然防止、設備利用率の向上を目的とした、無線センサーなど各種情報端末から自動収集される設備・運転データを蓄積し、AI等で解析するなどの**O&M高度化に向けた取組**
    ・ビッグデータ分析を活用した**異常兆候の早期発見**（ボイラ制御最適化システムの導入、予兆検知システムの導入）

# デジタル技術の活用の現状

- 個々の技術や事業者によっては実証や検討に留まるものもあり、取組の進捗には差がある。
- 企業単位での計画を策定し、**企業全体として取組を推し進めている企業**（東北電力、JERA、関西電力、電源開発）や、IT企業へのシステムの外注に留まらず、**社内にデジタル化に向けた体制を構築した上で、開発したシステムの横展開**を目指している企業（関西電力）も存在。
- JERAにおいては、**国の制度（産業競争力強化法の「事業適応計画」）も活用**し、デジタル化を推進している。

# （参考）電力各社における発電部門のデジタル化の方針

- 東北、関西及び電源開発の３社は、数年にわたる取組の方針を公表。

| 各社公表の文書 | 示されている方針 |
|---|---|
| **東北電力**<br>「最先端デジタル技術を活用したシステムの全火力発電所への導入完了について」<br>2020年5月28日 | ・2017年より東芝エネルギーシステムズと共同で、**火力発電所の運用効率向上を目的に、デジタル技術の導入に向けた検証**<br>・「設備の異常兆候の早期検知」「熱効率向上」への貢献を確認。**2020年3月までに全火力発電所へ導入完了**<br>・設備異常の早期検知については、システムを活用したサービスを2021年頃までに事業化 |
| **関西電力**<br>「当社のデジタルトランスフォーメーション（DX）に関する取組み状況」<br>2019年9月26日 | ・2018年に**社内にDX戦略委員会を立ち上げ、全体戦略を策定**。また、IT企業と共同で新会社を設立し、各部門の取組を支援<br>・社内の**デジタル人材を数百名規模で育成**<br>・**3カ年で700億円のDX投資**を実施。2021年度には年間数百億円規模の効果創出 |
| **電源開発**<br>「水力発電所の保守業務高度化の推進について」<br>2021年4月13日 | ・水力発電所の保守業務高度化を推進するため、**「デジタル集積戦略特別区域」として下郷発電所を指定**、技術実証を開始（2021年度から）<br>・2025年までに**全60か所の水力発電所構内において、ロボット活用などデジタル技術を活用** |

# （参考）株式会社JERAの事業適応計画のポイント

2022年1月27日公表

- 株式会社JERAは、クラウドやAI技術を活用することで、電力市場価格や需要動向、発電所の運転・点検に関する各種データを自動分析し、最適かつ効率的な火力発電所の運転を行います。
- これにより、発電事業のコスト競争力と市場対応力を向上させるとともに、発電所における業務をより付加価値の高い業務へシフトすることで、火力発電所の運営業務のさらなる高度化を図ります。

## ＜事業適応計画の概要＞

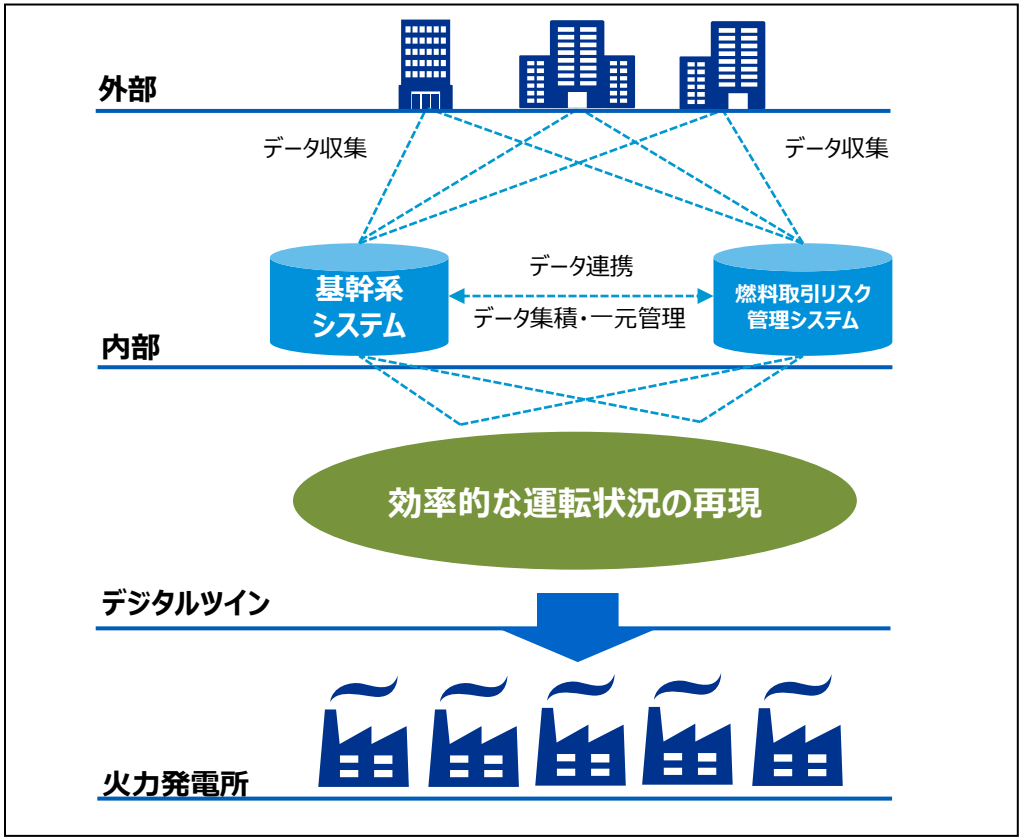
**１．事業適応計画の実施期間**
2022年1月～2026年3月

**２．生産性向上目標・新需要開拓目標**
ROAを3.18%ポイント以上向上させる。

**３．前向きな取組の内容**
発電所のO&M・エンジニアリング本部において、クラウドやAI技術を活用した効率的な発電所の運営により、販管費を売上高で除した値を23.0%以上削減する。

**４．支援措置**
税制措置（DX投資促進税制）

## ＜事業適応計画のイメージ＞



# 火力分野の人材育成・確保に関する課題

- 火力発電事業については、①国際的な動向を受けた事業の**先行きの不透明感**や、②稼働率の低下や休廃止の進展に伴う**OJT機会の減少**を受け、**人材の確保及び育成における課題**が顕在化しつつある。
- このような状況を受け、**火力人材の確保に向けては２つの方向性が存在。**
  - **ジェネラリストの育成**
    ・人材不足の中で、特定の技能に特化した人材ではなく、**複数の技能を修得した多能な人材（ジェネラリスト）を育成**する必要が生じている
    ・このため入社直後の研修期間において、運転業務と保守業務の両方を経験させるなど、総合的な知識を持つ人材育成に着手している事業者も存在
  - **デジタル関連のスキルを有するスペシャリストの育成**
    ・同時に、デジタル化の進展及び推進に伴い、**デジタル分野の専門性を有する人材の確保**は電力分野においても急務となっている
    ・デジタル化を担当する専門の部門を創設する事業者も存在するが、事業者によって濃淡がある

# 人材面の課題に対するデジタルを用いた対応

- **デジタル技術を用いて、人材面の課題に対応**しようとしている事業者も存在。

  - **省人化のための取組**
    ・無線監視カメラやウェアラブルカメラ、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）、無線センサーを活用した**発電所の遠隔監視**
    ・自走式点検ロボットやドローンで画像を収集し、AIによる分析を活用することによる**巡視点検の自動化及び効率化**
    ・**高所、水中、難点検箇所作業**のロボットやドローンへの移行

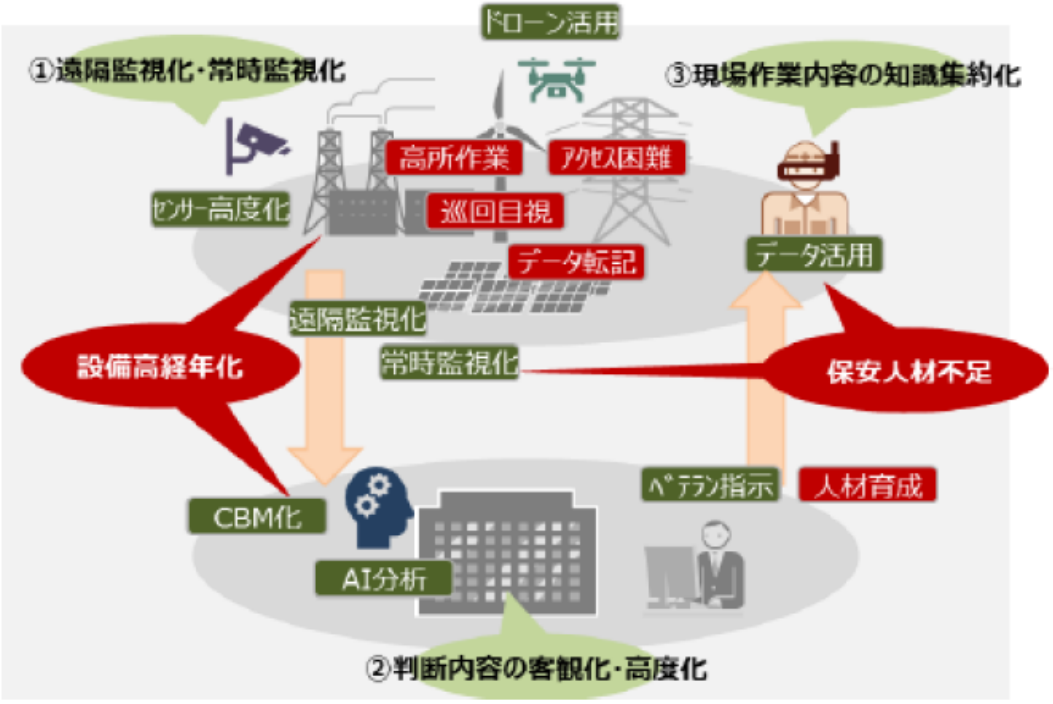
  - **人材育成のための取組**
    ・ヘッドマウントディスプレイを活用した**遠隔指導**
    ・ヘルメットカメラ、スマートグラスを活用した**保守員の後方支援**

- 国としては**「スマート保安」**のコンセプトのもと、**テクノロジーの活用による保安レベルの向上と人材不足への対処**を推進していくところ。
  ※高圧ガス保安法等の一部を改正する法律案（※3月4日(金)閣議決定）における、「認定高度保安実施事業者制度」の創設

# （参考）発電所のデジタル化に向けた取組の一例

・ベテランの退職や労働生産人口の減少等による**将来的な保安人材不足**への対応。
・限られた人材での継続的な**安定供給と保安レベル維持の両立**が必要。

## スマート保安の将来像




出展：スマート保安官民協議会 電力安全部会　アクションプラン抜粋

## 当社の取組み事例

### 1、巡視点検ロボット

巡視員が実施している設備点検を**自立走行ロボット**と**AI分析で**代替、**点検業務の効率化**を図る。

### 2、煙突内部点検ドローン

専用ドローンを開発し、煙突内部の点検を効率化。
**作業安全の向上**と**工期を短縮。**

### 3、発電所の遠隔集中監視

複数の発電所を遠隔で集中監視。
**監視業務の効率化**および**高度化**を図る。

# （参考）高圧ガス保安法等の一部を改正する法律案（※3月4日(金)閣議決定）の概要

## 背 景

✓ 近年、産業保安分野において、**革新的なテクノロジーの進展**、**保安人材の不足**、**電力の供給構造の変化**、**災害の激甚化・頻発化**、**気候変動問題への対応の要請**など、様々な環境変化が生じており、これらを踏まえた**保安規制の見直し**が必要。

## 法案の概要

✓ （１）スマート保安※の促進、（２）新たな保安上のリスク分野への対応／災害対策・レジリエンスの強化、（３）カーボンニュートラル実現に向けた保安規制の整備の３つを柱に、**高圧ガス保安法**、**ガス事業法**、**電気事業法**等の改正を行う。

※ スマート保安：産業保安分野におけるIoT、ビッグデータ・ＡＩ、ドローン等の活用を通じた安全性と効率性の向上。「人の力・技術」との連携・融合。

## （１）スマート保安の促進

✓ **「認定高度保安実施事業者制度」の創設【高圧・ガス・電力】**

**「テクノロジーを活用しつつ、自立的に高度な保安を確保できる事業者」**を**厳格に審査・認定**し、**安全の確保を前提に**、**その保安力に応じ**、**手続や検査の在り方を見直す**。

- 許可・事前届出を**事後届出・記録保存へ**
- **国等と事業者双方が行う検査を事業者による検査のみに**
- 常時監視・遠隔監視の普及を踏まえ、**検査時期や保安人員の配置を柔軟化**　等

⇨ **テクノロジーの活用促進により、保安レベルの向上と人材不足への対処**

ドローン・IoTによる点検

ビッグデータ・AIによる異常予兆検知・運転最適化

## （２）新たな保安上のリスク分野への対応／災害対策・レジリエンスの強化

✓ **太陽光・風力発電設備の保安規制の見直し【電力】**

**小規模な太陽光・風力発電設備**※を、**「小規模事業用電気工作物」**と位置付け、**基礎情報の届出や使用前の自己確認等の対象とする**。

※出力が10kW以上50kW未満の太陽光・20kW未満の風力発電設備

- **設備の設置者の基礎情報の届出義務**（設備の種類、設置場所及び管理者等）
- **技術基準維持義務**、**使用前自己確認**（事業者が設備の安全性を事前に確認）等

<太陽光パネルの崩落>

<風車の羽根の脱落>

**令和3年4月～12月末**までに報告された小出力発電設備の事故件数は**158件**。

✓ **ガス事業者間の災害時の連携強化【ガス】**

**災害時におけるガス事業者間の連携計画の事前策定を義務付け**。

※電気事業法における災害時連携計画と同様の仕組みを導入。

## （３）カーボンニュートラル実現に向けた保安規制の整備

✓ **燃料電池自動車の規制の一元化【高圧】**

高圧ガス保安法と道路運送車両法の両法が適用される**燃料電池自動車等**について規制を一元化**（高圧ガス保安法から適用除外）**。

✓ **「登録適合性確認機関」による確認制度の創設【電力】**

今後導入が進む**風力発電設備**について、安全かつ迅速な審査を行うため、工事計画届出の審査について、**専門機関**（「登録適合性確認機関」）**が技術基準の適合性を確認する仕組みとする**。

１．火力の脱炭素化に向けたロードマップの作成

２．火力発電の老朽化の現状

３．発電所におけるデジタル技術の活用の現状

**４．製造分野（自家発電）のCNに向けた取組の現状**

# 製造分野（自家発電）のCNに向けた取組の現状

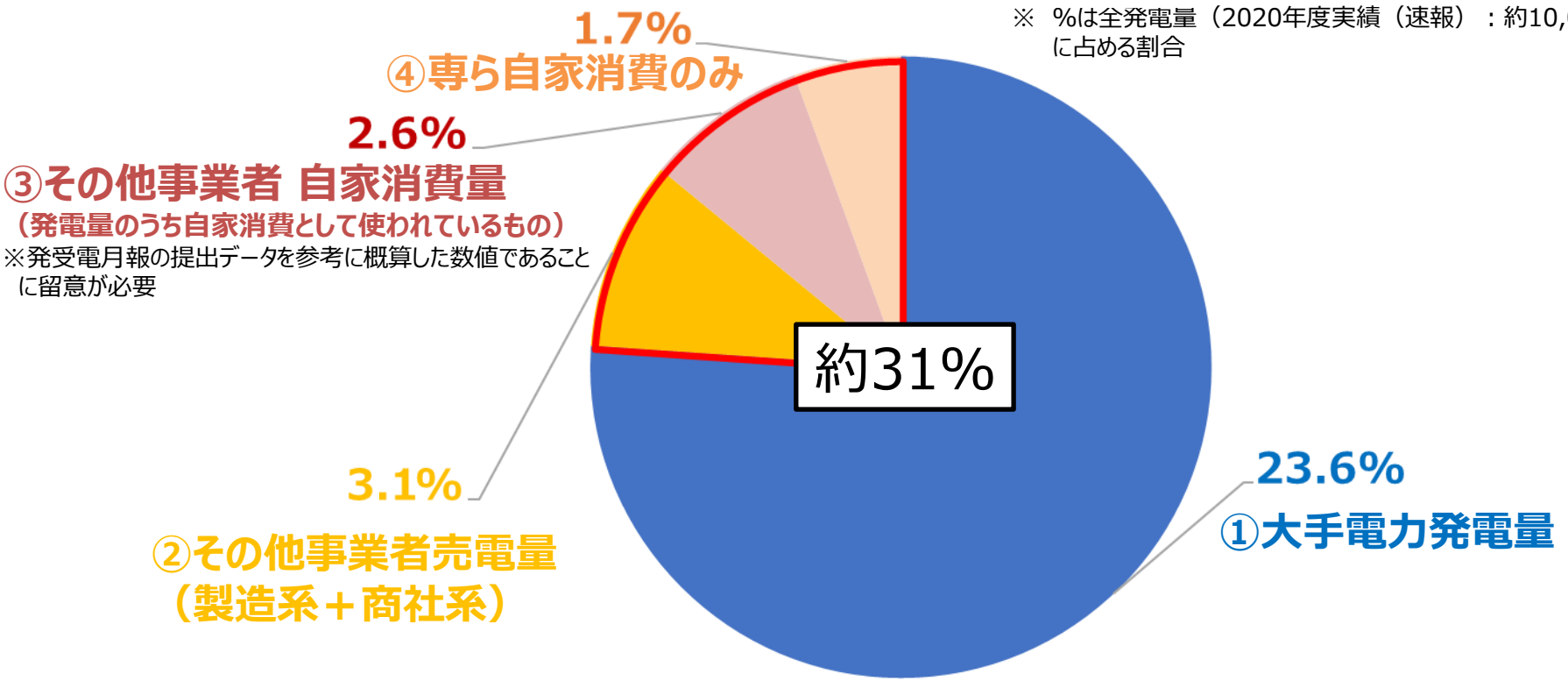
- 石炭火力は、発電用途のみならず、**安価で安定的な電力・熱を確保する観点から、製造系分野において自家発電として利用**されている。。
- これまでの本小委員会の中でも、「自家発は各産業でも取り組むと理解だが、電力分野の整理を示されたい」といった御意見が出てきたところ。
- 一方、**製造分野では、自家発電を含め各分野においてカーボンニュートラルに向けた議論が進められている**。
- また、製造系の自家発電については、**売電の実態（完全自家消費のものや一部を売電しているもの）や熱利用の状況など、実態が異なる**部分もある。
- 今回、**自家発電の実態**や、**製造分野のカーボンニュートラルを見据えた現状の議論や取組**を紹介するとともに、火力発電全体でもCNを目指す中で、国際競争力の観点も含め、自家発電をどう扱うべきか、御議論いただきたい。

# 石炭火力発電量における自家発電

- 足元の**石炭火力の比率は31%**であり、このうち**大手電力会社※による発電量は約24%**、**その他の事業者による発電量は約7%**。※大手電力:旧一般電気事業者、電源開発及びこれら事業者のみで共同出資される共同火力
- このうち、その他事業者による発電量は以下のように内訳される。
  - ・発電量のうち、**売電のみ**を行う
  - ・発電量のうち、**売電用途と自家消費用途**がある（自家発電設備による余剰電力の売電を含む）
  - ・発電量のうち、**自家消費のみ**を行う
- 以下の図では、売電と自家消費を行う事業者の発電量を分離しつつ、**その他事業者による売電量と自家消費量**を示す。

石炭火力発電による発電量の内訳（推計）
＜約3,100億kWh（2020年度実績）＞

※ %は全発電量（2020年度実績（速報）：約10,000億kWh）に占める割合

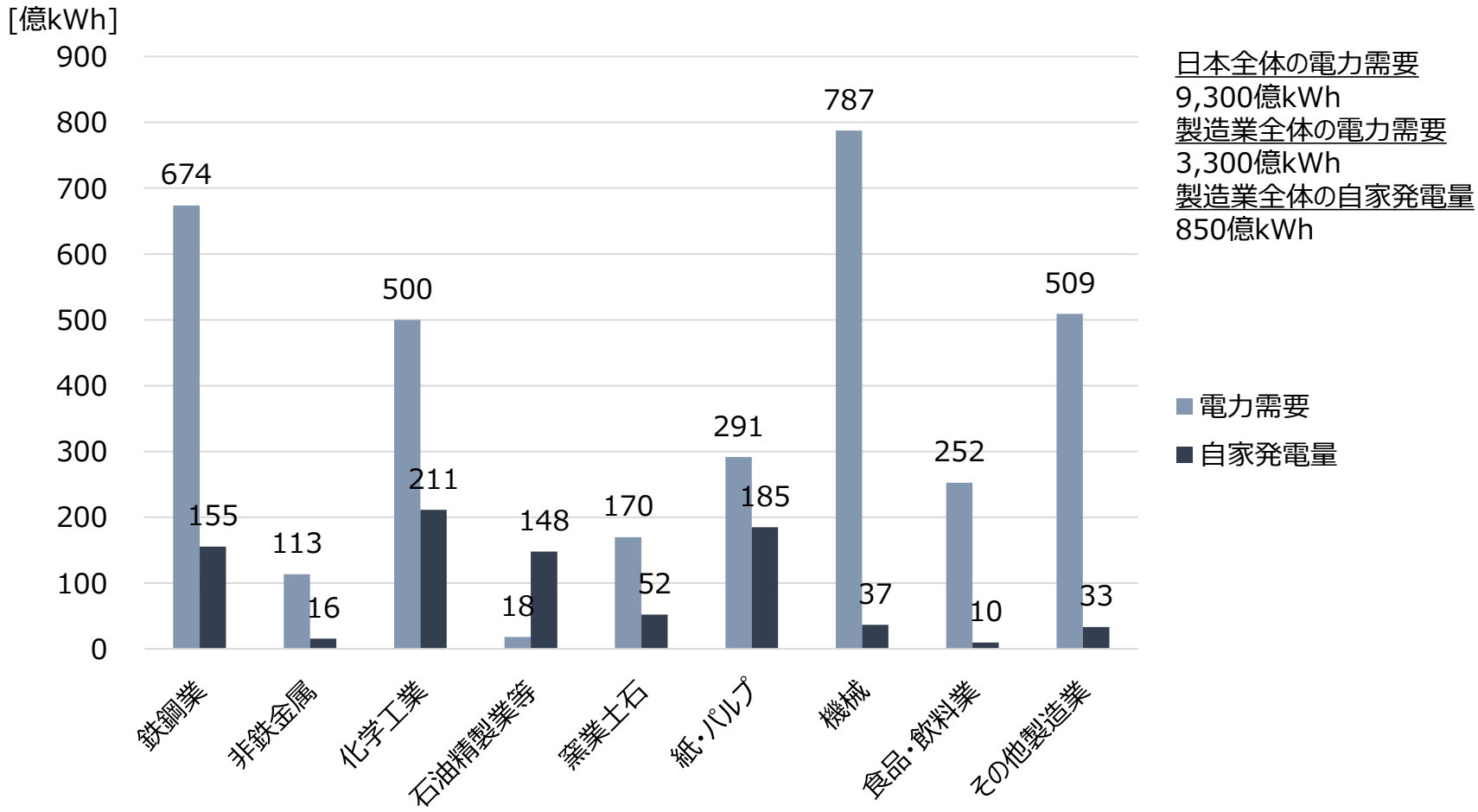


# 【参考】製造業の電力の調達方法

第10回製造産業分科会
（2021/12/21）資料3

- 製造業全体で**日本の電力需要の約３割**を占める。そのうち**素材系産業（鉄鋼、化学、セメント、紙等）は自家発を多く所有している傾向**。

## 製造業の電力需要、自家発電量（2019）




日本全体の電力需要
9,300億kWh
製造業全体の電力需要
3,300億kWh
製造業全体の自家発電量
850億kWh

出典：総合エネルギー統計より作成

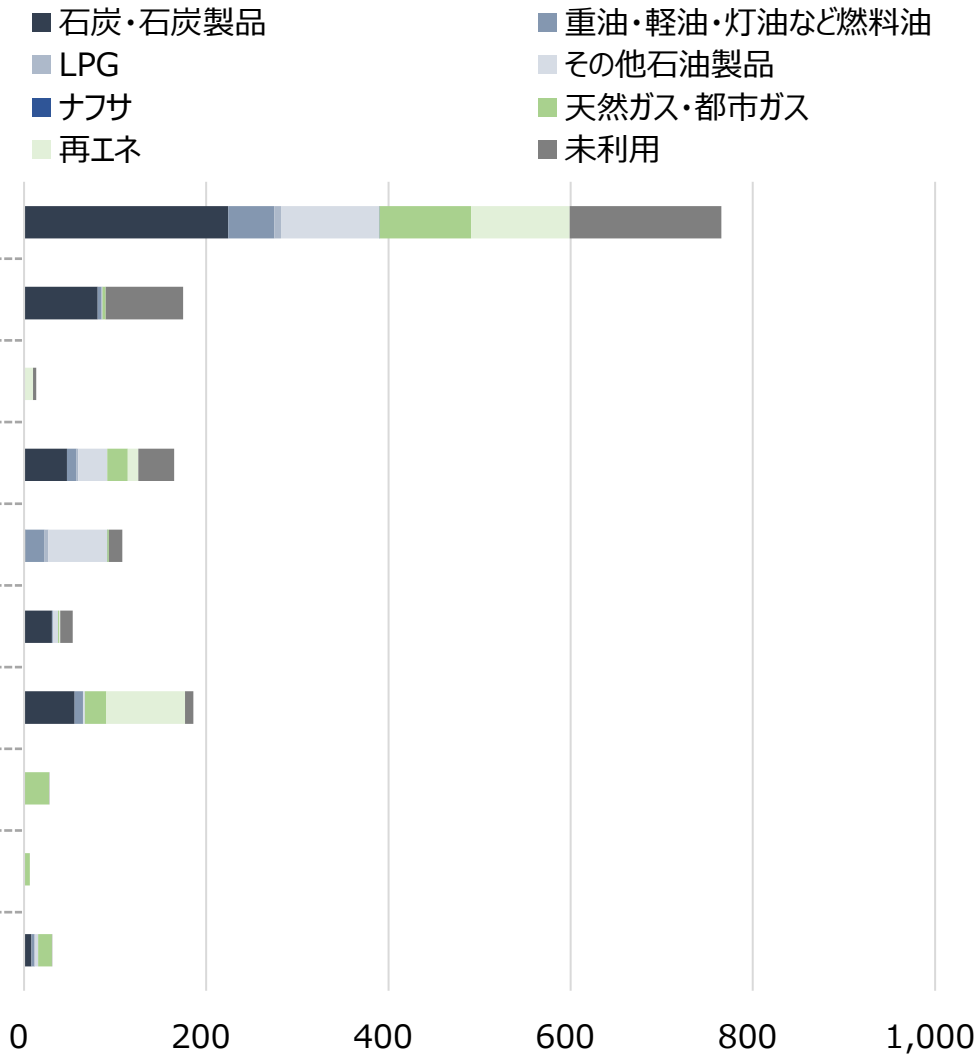
# 【参考】製造業の自家発電のエネルギー消費（2019

第1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賞委員会/総合エネルギー調査会　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（2021/12/16）資料2

- 製造業の自家発電では、製造工程で生じるエネルギー（製油所におけるオフガスなど）を利用した発電以外では、**石炭による発電量が大きい**。

| | 石炭・石炭製品 | 燃料油（重油・軽油・灯油など） | LPガス | その他石油製品 | 天然ガス・都市ガス | 再エネ・未利用 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 製造業 | 29% | 7% | 1% | 14% | 13% | 36% |
| 鉄鋼業 | 46% *主に副生ガス | 2% | 1% | 0% | 2% | 49% *炉頂圧発電など |
| 非鉄金属 | 0% | 2% | 0% | 0% | 2% | 96% *水力発電など |
| 化学工業 | 29% | 6% | 1% | 19% *主に製油所ガス | 14% | 31% *主に排熱回収発電 |
| 石油精製業等 | 1% | 19% | 4% | 60% *主に製油所ガス | 2% | 14% *主に排熱回収発電 |
| 窯業土石 | 57% | 2% | 0% | 11% | 2% | 28% *排熱回収発電など |
| 紙・パルプ | 30% | 5% | 0% | 1% | 13% | 51% *主に黒液 |
| 機械 | 0% | 3% | 0% | 0% | 96% | 1% |
| 食品・飲料業 | 0% | 6% | 0% | 0% | 94% | 0% |
| その他製造業 | 27% | 11% | 0% | 13% | 48% | 1% |

業種内の比率（横に合計して100%）




出典：総合エネルギー統計より作成、総合エネルギー統計における自家用発電におけるエネルギー消費

# 【参考】製造業における石炭火力自家発電



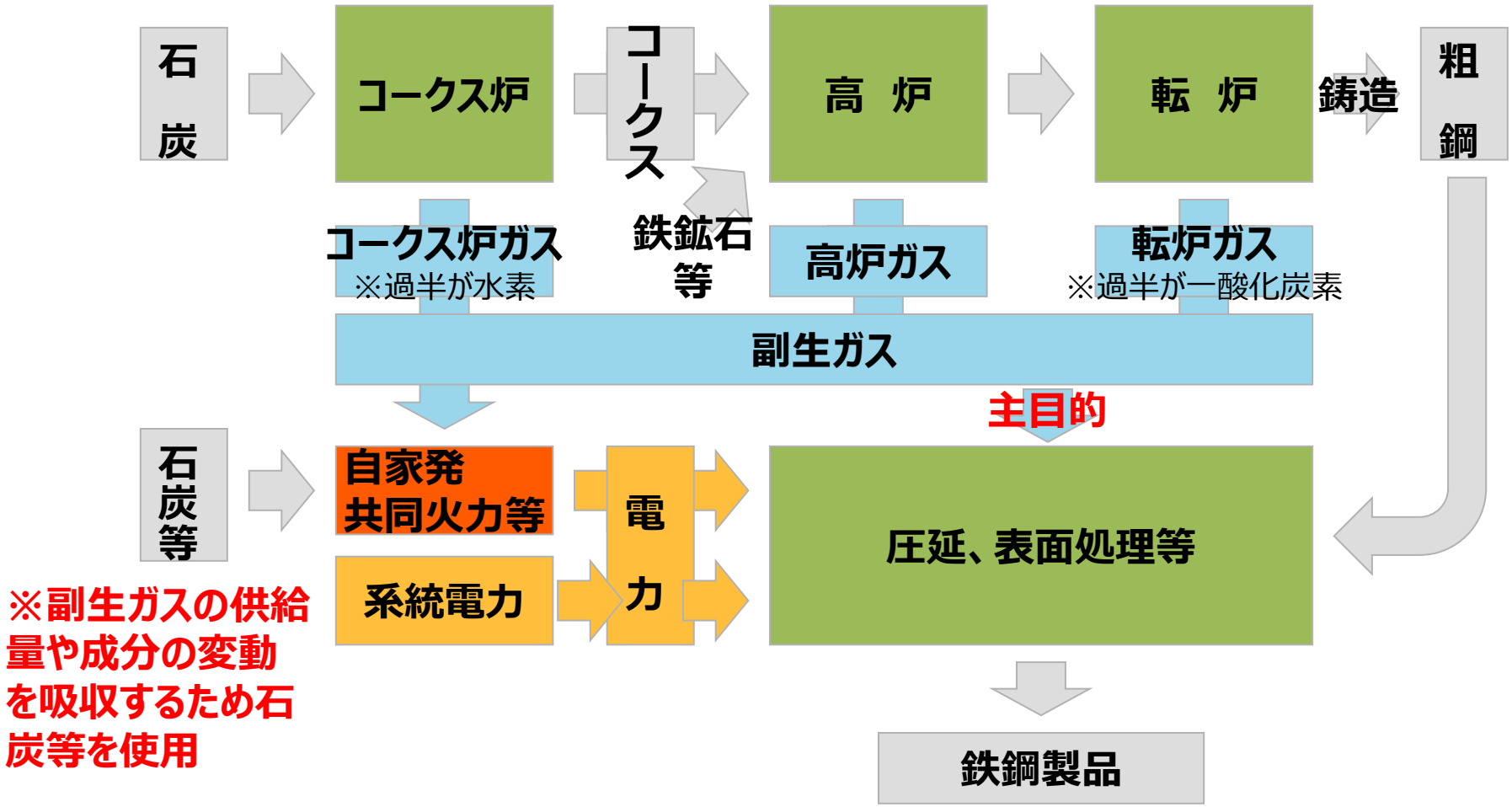
- 製造業は、**安価で安定的な電力・熱を確保**する観点から石炭火力自家発電を活用。特に**「製鉄」「化学」「製紙」「セメント」の４業種**を中心に多く保有。

| 製鉄 | 化学（含ソーダ工業） | 製紙・パルプ | セメント |
|---|---|---|---|
| ✓ 鉄鋼業においては、**製鉄工程における副生ガスを利用**し、自家発電設備を稼働。<br><br>✓ 製鉄プロセスで発生する**廃熱も利用。**<br><br>✓ 製鉄所内の電力供給を担うとともに、副生ガスの消化、製鉄プロセスの省エネ化にも資する設備。 | ✓ **ソーダ工業**は、食塩水の電気分解により苛性ソーダを生産。**電力コスト削減が産業競争力に直結**するため、エネルギー効率の観点で自家発電保有を選択。<br><br>✓ **他の化学工業**は**材料混合&攪拌時に多くの電気が必要**。また、蒸留、乾燥過程等に**多量の蒸気を使う**。<br><br>✓ **製造過程で発生する熱利用が多い**。 | ✓ 製造工程において、**大量の電力及び熱エネルギーが必要**となり、**その大半を自家発ボイラーで賄っている**。<br><br>✓ 半分以上は黒液や木質等のバイオマス燃料を使用しているが、**不足分はコスト面から化石燃料を使用**している<br><br>✓ **熱利用が主目的**の設備。 | ✓ **セメント原料に石炭を利用**しており、コストメリット確保のため、石炭による自家発電を導入。<br><br>✓ **キルン（窯）からの廃熱エネルギーは廃熱発電**に利用し、エネルギーコストを低減。<br><br>✓ 石炭火力の**余剰電力を売電することで収益性強化**を図っている。 |

# （参考）鉄鋼業における自家発電火力のイメージ

第10回製造産業分科会
（2021/12/21）資料3

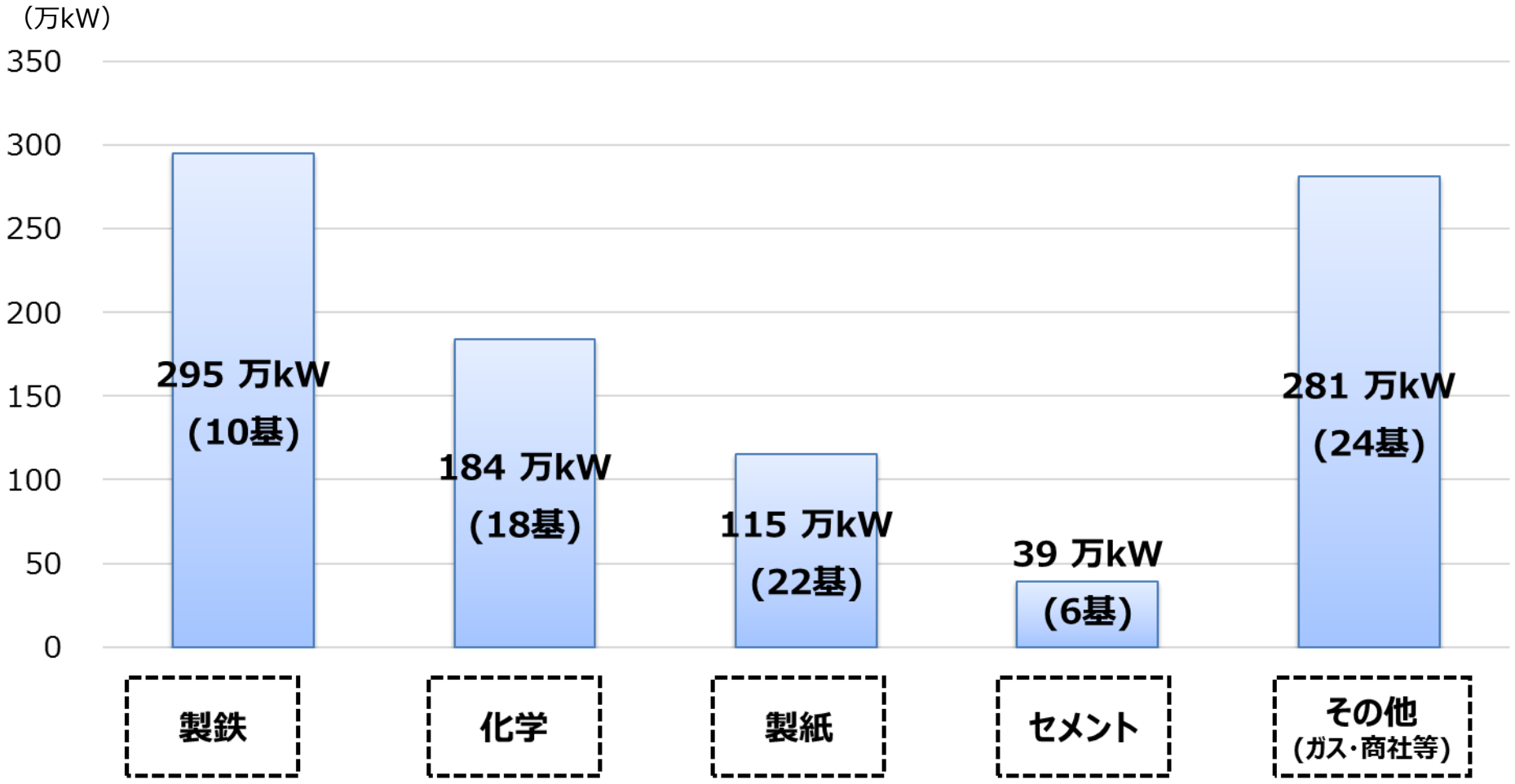
- 鉄鋼業では製造プロセスで発生する副生ガスを自家発電に利用。
- 副生ガスの供給量や成分の変動を吸収するために石炭等を使用している。



# （参考）業種別の石炭火力保有状況

第●回石炭火力検討WG
（2021/●/●）資料●

- 製造業界では、「**製鉄**」「**化学**」「**製紙**」「**セメント**」の4業種が石炭火力を多く保有。




出典：資源エネルギー庁が公表する2020年7月時点の石炭火力一覧を業種別に振り分け

# 【参考】燃料転換の手法について

第10回製造産業分科会
（2021/12/21）資料4

- 石炭から想定される主な転換先は**①ＬＮＧ、②バイオマス（混焼も含む）。**ただし、石炭と比べて燃料費増に伴うコスト負担などが課題であり、従来の経営判断では進みにくい。
- 規制的手法により燃料転換を推し進めても、**投資分のコストアップにより競争力を失う可能性**。最悪の場合、**海外移転などの国内産業の基盤が失われる恐れ**。

| 燃料転換先 | 燃料費 | CO2排出量 | 特長 | 課題 |
|---|---|---|---|---|
| LNG | 6.4円/kwh | 476g/kwh | ・CO2排出量が他の化石燃料と比べて少ない。<br>・将来的に水素燃料等の非化石燃料に置換できる可能性。 | ・LNGを低温保管するためのタンクや発電設備までの配管など、インフラ整備費が多額。<br>・CN燃料ではない。 |
| バイオマス | 21円/kwh | 0g/kwh | ・CO2排出量実質ゼロ<br>・石炭火力への混焼が可能であり、既存設備の活用が可能。 | ・燃料コストが非常に高い。<br>・伐採から燃料輸送までを含め、新たな燃料供給体制の確保 |
| 石炭 | 4.4円/kwh | 864g/kwh | ・低価格 | ・CO2多排出 |

# 【参考】自家発電設備の燃料転換の支援

**基礎素材産業の低炭素化投資促進に向けた設計・実証事業**　　**令和３年度補正予算案額 61.0億円**

## 事業の内容

### 事業目的・概要

- 日本の$CO_2$排出量のうち、約１／４を基礎素材産業（鉄鋼業、化学工業、窯業・土石業、パルプ・紙・紙加工業）からの排出が占めており、こうした基礎素材産業の脱炭素化に向けた対策が急務です。
- 基礎素材産業からの$CO_2$排出は、製造プロセス及びエネルギー利用による二つの排出源があり、カーボンニュートラル化に向けては、この二つの対策に取り組む必要があります。
- このため、$CO_2$排出に関する2030年度の政府目標も踏まえ、緊急的な対策として、①基礎素材産業各社が保有する石炭等火力自家発電所の燃料転換、②製鉄用設備の低炭素化改修に向けた事業実施可能性調査に係る費用の一部を補助します。

### 成果目標

- FS調査については、燃料転換等に向けた詳細設計等の次の段階に進むことを目指します。

### 条件（対象者、対象行為、補助率等）

補助（定額）　　補助（2/3）

国 → 民間団体等 → 基礎素材産業

## 事業イメージ

### 事業実施可能性調査支援事業

- エネルギー多消費産業である基礎素材産業各社が実施する石炭等火力自家発電所の燃料転換や$CO_2$排出量の多い製鉄用設備（高炉・コークス炉等）の低炭素化改修（廃プラの利活用や電気炉化など）に向けた事業実施可能性調査（実証・設計含む）に係る費用の一部を補助します。

＜燃料転換等に向けたFS調査＞
・燃料の転換、廃プラ等の利活用による影響、効果等の検証・実証
・低炭素設備の導入による効果の検証・実証
・燃料転換等後のランニングコスト等の試算
・燃料転換等に向けた設備の詳細設計　　等

【燃料転換イメージ】

例）高炉（石炭を使って鉄鉱石を鉄に変える炉）において、廃プラを利活用することで石炭・コークスの使用量を抑制

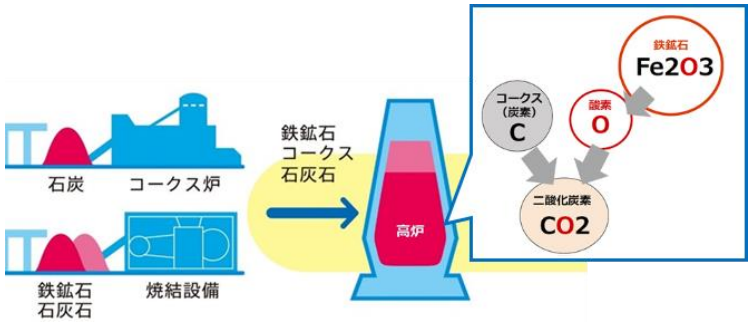
【製鉄用設備の低炭素化改修イメージ】

# 【参考】基礎素材産業のCNに向けた課題と今後の取組



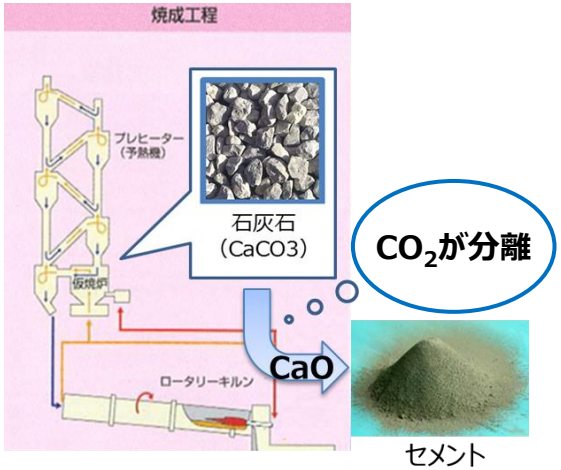
- 素材産業では**①反応プロセス、②加熱、③電力利用で$CO_2$を排出。**
- 水素還元製鉄や人工光合成等の技術開発を通して、**生産プロセスの根本的変革に取り組む。**

## $CO_2$発生プロセス（鉄鋼）




（出典）一般社団法人日本鉄鋼連盟資料を基に作成

## $CO_2$発生プロセス（セメント）




（出典）一般社団法人セメント協会資料を基に作成

| 産業 | 現状の課題 | 今後の取組 |
|---|---|---|
| 鉄鋼業 | ・石炭による還元反応で$CO_2$が発生 | ・高炉を用いた水素還元<br>・直接水素還元・電炉技術開発 |
| 化学工業<br>石油石炭製品 | ・ナフサクラッカーの加熱でエネルギー消費<br>・廃棄時の燃焼で$CO_2$が発生 | ・廃プラスチック・廃ゴムや$CO_2$のプラスチック原料化技術の確立<br>・人工光合成によるプラスチック原料製造<br>・熱源のカーボンフリー化 |
| 機械製造業<br>金属製品製造業 | ・製造・使用時に電力を消費 | ・省エネ、電力のカーボンフリー化 |
| 窯業・土石業 | ・石灰石の燃焼で$CO_2$が発生<br>・キルンの加熱でエネルギー消費 | ・石灰石燃焼時の$CO_2$回収、$CO_2$吸収コンクリートの開発<br>・$CO_2$を用いた廃コンの原料化<br>・熱源のカーボンフリー化 |
| パルプ・紙・紙加工業 | ・パルプの加熱でエネルギー消費 | ・熱源のカーボンフリー化 |
| 非鉄金属製造業 | ・電気分解で電力を消費 | ・電力のカーボンフリー化 |

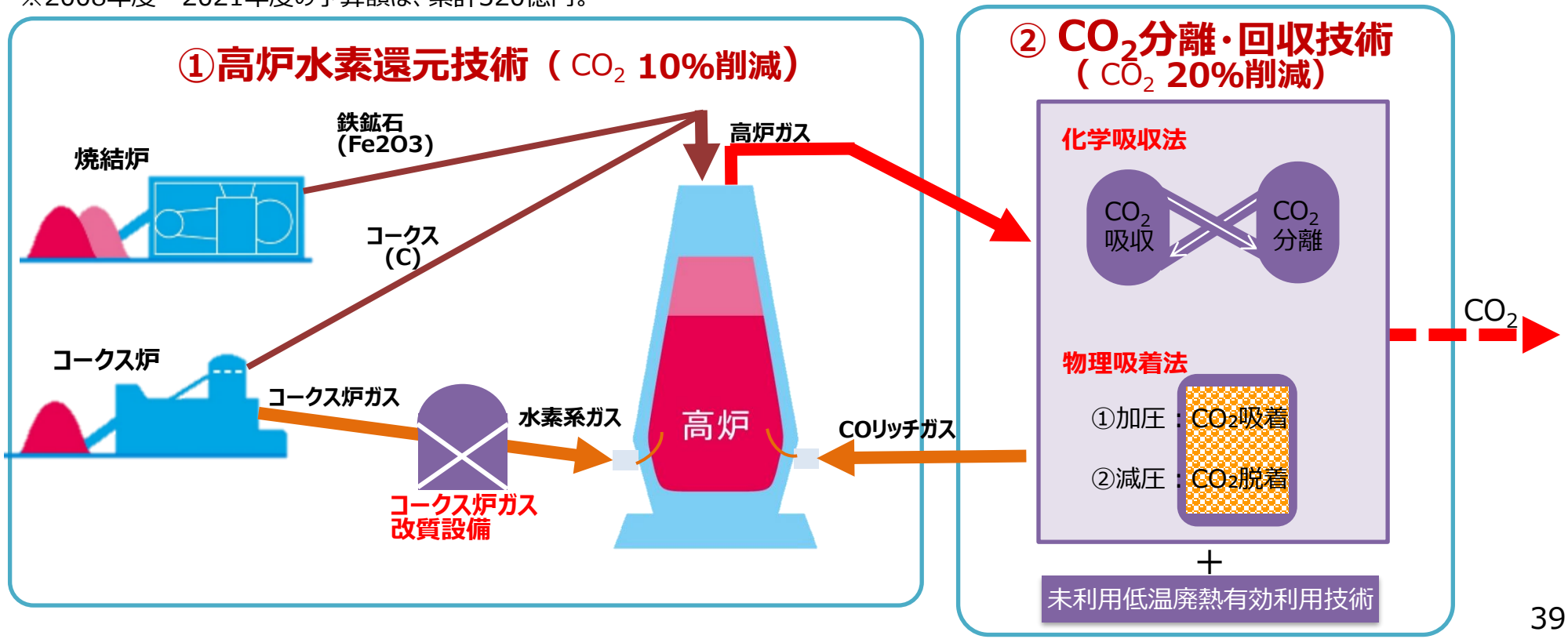
出典：国立研究開発法人国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ」（2019年度確報値）

# 【参考】COURSE50（$CO_2$ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50）の概要



- **製鉄所から発生する$CO_2$の約30%を削減**可能とする革新的な低炭素製鉄プロセス技術の確立を目指すプロジェクト。
- 鉄鉱石(酸化鉄)を還元するために用いるコークスの一部代替として、**①水素を活用した鉄鉱石の還元技術(高炉水素還元技術)**、$CO_2$を多量に含む高炉ガスから$CO_2$を分離するため、製鉄所内の未利用廃熱を利用した**② $CO_2$分離・回収技術**の開発を実施中。
- 2013年度から試験高炉（12m³、実機の約1/400）を用いた試験を開始し、**還元工程における$CO_2$排出量10%減が達成可能であることを世界で初めて検証**。また、製鉄所内の未利用排熱を利用することで、**$CO_2$の分離・回収に必要な外部エネルギーを軽減する技術**（化学吸収方法）**を確立**。

※2008年度～2021年度の予算額は、累計320億円。



# (参考)化学産業におけるCO2削減のための研究開発



- プラスチック原料のほとんどは石油精製で得られるナフサ（粗製ガソリン）由来であり、**化学産業から排出される$CO_2$の約半分がナフサを分解してエチレン、プロピレン等の基礎化学品を製造する過程等**に起因。
- また、廃プラスチックの約84%がリサイクルされているが、この内**約57%がゴミ焼却発電等の熱源として利用（サーマルリサイクル）**され、**最終的には$CO_2$として排出**されているため、抜本的な対策が必要。

## 熱源のカーボンフリー化によるナフサ分解炉の高度化技術の開発

- 現行はナフサ分解炉から発生するオフガス(メタン等)が熱源。
- 本事業では、ナフサ分解炉の熱源を**カーボンフリーであるアンモニアに転換**する世界初の技術を開発する。

約850℃でナフサ熱分解している炉の熱源をアンモニアに転換

## 廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発

- **廃プラ・廃ゴムからエチレン、プロピレン等のプラスチック原料を製造する技術**を確立。
- 収率60～80%で製造し、さらに製造時に排出する$CO_2$も従来の半分程度を目指す。

廃プラ熱分解油
（プラスチック原料）

## $CO_2$からの機能性化学品製造技術の開発

- ポリカーボネートやポリウレタン等の機能性化学品は水素を必要とせず原理的に$CO_2$から合成が可能。
- **$CO_2$の原料化**とともに、**電気・光学・力学特性等の機能性向上**にも取り組む。

高機能ポリカーボネート
（カメラレンズ）

## アルコール類からの化学品製造技術の開発

- **メタノール等からエチレン、プロピレン等のオレフィンを製造(MTO)**する触媒収率を向上(80～90%)。
- 人工光合成については、**高い変化効率と優れた量産性が両立できる光触媒を開発**し、実用化を目指す。

MTO実証

光触媒パネルの大規模実証

# 【参考】$CO_2$を原料とするセメント製造プロセスの開発



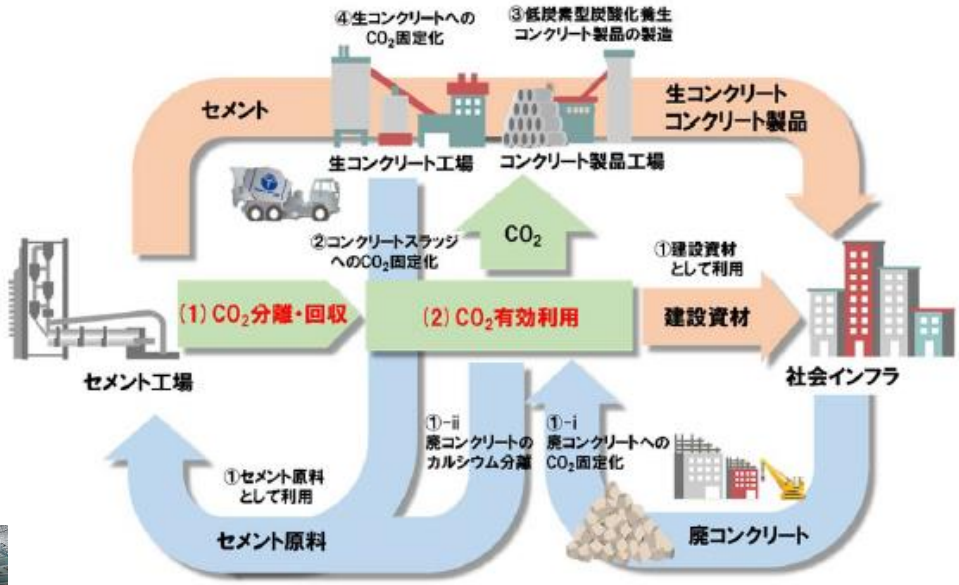
- セメントの主な原料である石灰石（$CaCO_3$）は脱炭酸反応により**$CO_2$が必然的に発生。**
- **セメントの製造プロセスで発生する$CO_2$を回収し**、廃コンクリートや鉄鋼スラグなどの**カルシウム含有物に固定し、炭酸塩化**させることで、**原料や路盤材等にリサイクル**する技術開発を実施中。

## $CO_2$循環型セメント製造プロセス事業

- セメント工場の排ガス等に含まれるCO2を化学吸着法で分離・回収する。
- セメントメーカーで調達容易な廃コンクリート等からカルシウム成分を抽出し、回収したCO2の固定化を実施。
- 回収した$CO_2$と抽出カルシウムから炭酸カルシウム（CaCO3）を生成し、**セメント原料や路盤材等に再利用**する技術を開発する。

【 $CO_2$回収設備】
※小型実証機

【 $CO_2$再利用イメージ】



# 【参考】基礎素材産業のCN推進における課題と今後の取組

第9回製造産業分科会
（2021/9/13）資料2

## 現状・課題

- 日本の鉄鋼・化学等の基礎素材産業は、**国内に高い国際競争力を有する供給体制を構築**しつつ、他産業の高い製品性能を支えるとともに、**雇用や地域経済を支えてきた重要な存在**。自動車をはじめ**高い環境競争力を持つ製品の素材**としても期待。
- 足下では、①**中国の伸長などグローバル競争環境の変化**、②**原材料価格上昇や電力価格といったエネルギーコストの増大など国内事業環境の変化**、③**経済安全保障への関心の高まりといった変化**に直面。
- こうした変化に対応するとともに、**２０５０年カーボンニュートラル**、**２０３０年$CO_2$４６%削減**といった**極めて野心的な温暖化目標を受けて**、**生産プロセスの革新や燃料の転換など大胆な投資を進めていくことも重要な課題**。基礎素材産業の国際競争力を維持・強化しつつ、これらの課題に対応していくことが必要。

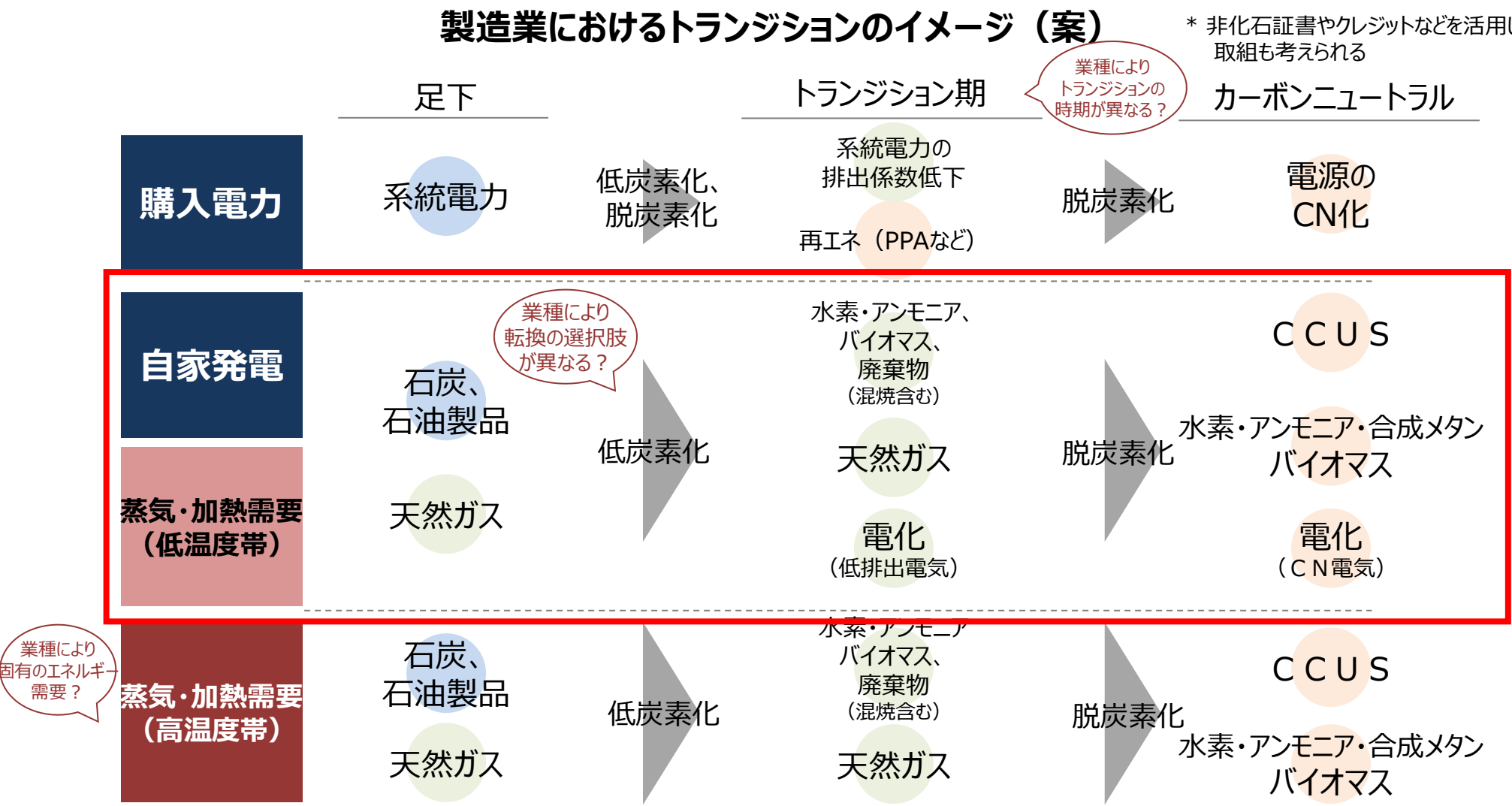
## 上記を踏まえて以下の取組が必要

- **CNに資する革新的研究開発の推進と実装に向けた環境整備**
- **国際動向も見据えた国際競争力ある日本の基礎素材産業の将来像の検討**
- **低廉かつ安定的なエネルギー供給など国内事業環境の改善**

# 【参考】業種のエネルギー需給構造を踏まえたトランジション戦略

第1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賞委員会/総合エネルギー調査会　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（2021/12/16）資料2　赤枠追加

- 産業部門における脱炭素化の取り組みは不可避な一方で、**エネルギーの供給・需要の仕方は業種によって大きく異なり**、企業のおかれた**様々な状況も踏まえたトランジション戦略**を描く必要があるのではないか。そのトランジション戦略はどのようなものが考えられるか。

## 製造業におけるトランジションのイメージ（案）

＊ 非化石証書やクレジットなどを活用した取組も考えられる