

グリーン製造による 工場動力費とCO₂排出量の削減活動

Green Manufacturing Activities for
Reducing Factory Power Costs and CO₂ Emissions



森 宏樹^{*1}
Hiroki Mori

蔵重 勇^{*2}
Isamu Kurashige

佐藤 匠^{*3}
Takumi Sato

吉田 太地^{*4}
Taichi Yoshida

西山 貴之^{*5}
Takayuki Nishiyama

三菱重工グループでは、2040 年カーボンニュートラル達成に向けて、CO₂ 排出量の多寡に依らず、省エネルギー・合理化活動を進めている。本活動は、作業の安全性、製品の生産性を維持・向上しながら、設備のエネルギー消費量を削減する、環境に配慮したグリーン製造が重要となる。本報では、航空宇宙部品を生産する大江工場の生産設備を対象に、グリーン製造を実現し、工場動力費及びCO₂排出量の10%削減を実現したため、その概要について報告する。

1. はじめに

近年、三菱重工グループ(以下、当社グループ)は、2040 年カーボンニュートラル達成を宣言し、活動を進めている^{(1), (2)}。特に、大江工場は、Boeing787 主翼、Boeing777 後部胴体及び尾胴部品、国産ロケット H3 の構造部品などを始めとする大型かつ高品質な航空宇宙部品を生産する工場であるが、当社グループ工場の中でもエネルギー使用量が多い。また、近年発生したCOVID-19 による生産量の低下、電気・ガス単価の高騰などの課題に直面した。そこで、生産量回復や将来の増産に向けた製造基盤の再構築を目指したカーボンニュートラル活動に 2021 年度から取り組んでいる。

2. 活動の概要

大江工場は、航空宇宙部品に用いられる多種多様な部品に応えるため、現在、500 基以上のカスタムメイドな設備群が稼働している。図 1 に大江工場における設備別エネルギー消費量と主要な生産設備を示す。熱処理・生産空調・表面処理といった、大空間の温湿度・清浄度などのシビアな精度が要求される設備は大量のエネルギーを消費することが分かっている。

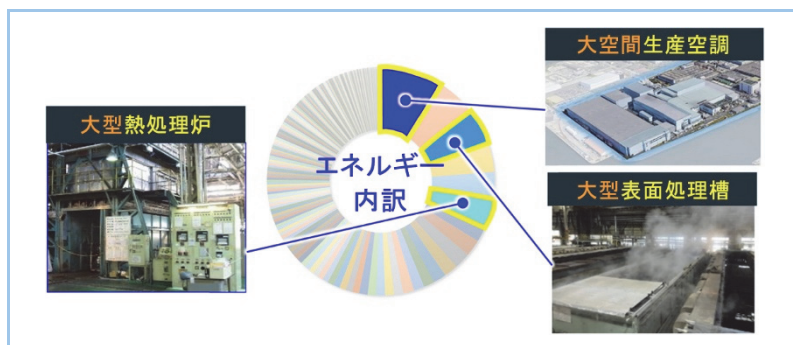


図1 大江工場の設備別エネルギー内訳と主要生産設備

*1 総合研究所 特殊システム研究推進部

*2 民間機セグメント 工作部 主席技師

*3 総合研究所 ファクトリーイノベーションセンター

*4 総合研究所 伝熱研究部 博士(工学)

*5 民間機セグメント 工作部

カーボンニュートラルに向けた省エネ活動としては、エネルギーを多く消費する生産設備の条件変更を積極的に進める必要がある一方で、航空宇宙部品の製造は、高い安全性を確保するため一度決めた工程を厳格に守ることが要求されており、安易な条件変更は認められないことが知られている。

事業環境変化を受けて、2021 年度から取り組んでいる省エネ活動の年表を表 1 にまとめる。2021 年度から 2022 年度にかけては、工作部を中心に、製品品質に影響のない範囲での生産設備・プロセスのムダ取りと全員参加の省エネ活動の風土醸成に取り組んできた。

更なる活動推進に向けて、2023 年度より総合研究所を中心としたコーポレート部門が参画し、工場全体への活動の展開と全体最適化視点から航空宇宙部品の生産性を維持しながら省エネ化の取組みを進めている。具体的には、工程変更にも果敢に挑戦する部門の垣根を超えた体制構築、安全性・生産性と設備の省エネを両立するグリーン製造スキームの構築、設備のエネルギーロスを視える化するツール(以下、エネルギー診断ツール)の開発に取り組むことで活動の活性化と高度化を図ってきた。次章にて、活動のポイントとなるスキームとエネルギー診断ツールの紹介を行う。

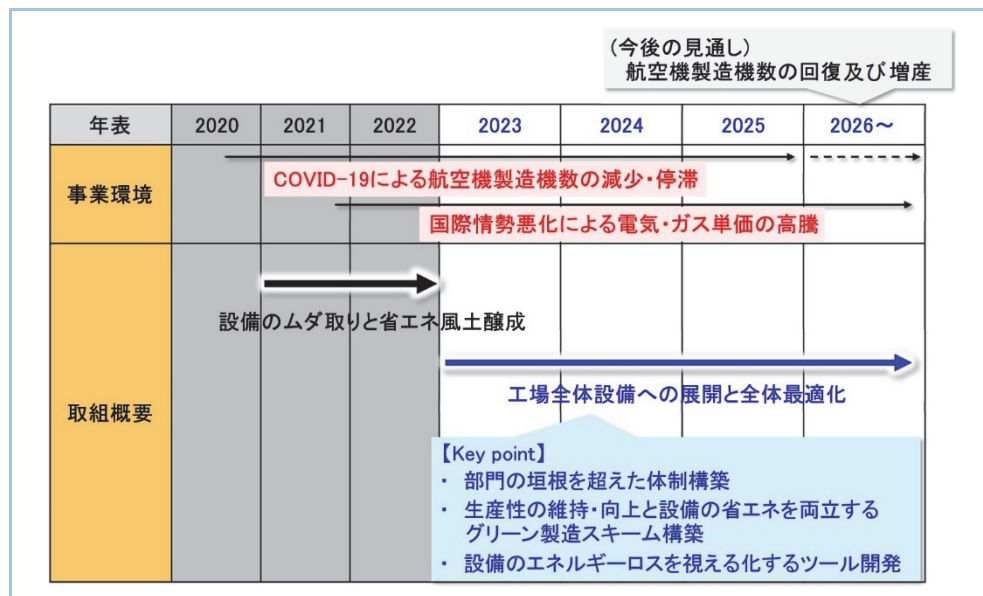


表1 大江工場における省エネ活動の取組み

3. 具体的な取組み

3.1 生産性と設備の省エネを両立するグリーン製造スキームの構築

航空宇宙部品における高い製品品質を維持したまま、効果的な省エネ活動を推進するため、グリーン製造スキームを構築した。スキームは、図 2 に示すように選定・分析・対策・評価の順に大別される。

選定は、500 基以上の工場内全生産設備の動力を把握し、エネルギー消費量の多い対象設備の選定を行う。例えば、図 3 に示すような工程単位・設備単位で消費電力量をパレートグラフで視える化することで把握が可能となる。分析を行うことで、より実行優先度の高い設備を正確に把握した。



図2 グリーン製造スキームの検討ステップ

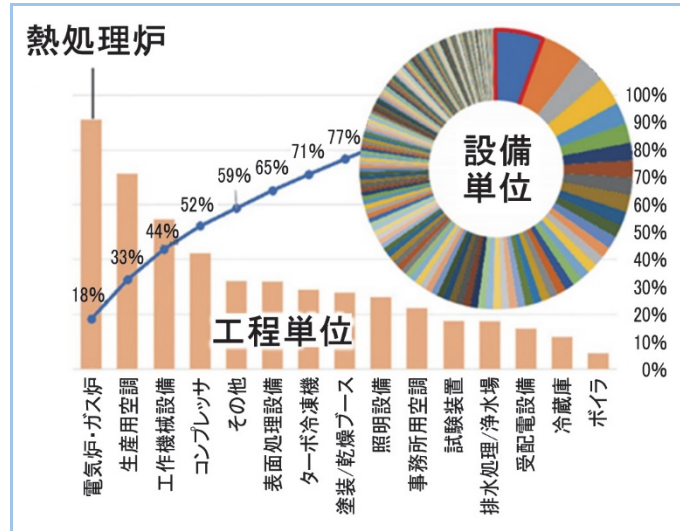


図3 工程・設備単位別エネルギー消費量

次に、選定した設備の分析を行う。ここでは、市販の電力・ガス計測器を活用した分析に加えて、独自開発を行ったエネルギー診断ツール(3.2節)を活用し、エネルギー使用割合の大きい工程・設備の特定箇所の可視化を行った。

対策では、総合研究所の科学的なアプローチに基づき、効果的な対策案と数値目標の策定を行う。科学的なアプローチとは、体系的かつ客観的に物事を理解し、解決するための方法論であるが、重要な点としては、対象設備に紐づく工程や作業の安全性・生産性を加味した具体的な対策案を策定することにある。また、対策の策定だけでなく、対策の実現に向けたチェックポイント(懸念事項)と適用難易度を想定し、実行計画に反映することも必要となる。そこで、表2に示すようなガイドラインを策定することで、より効率的な対策立案を可能にした。

最後の評価では、設備に対する対策の適用検討と効果の検証を行う。これまでも記載のとおり、航空宇宙部品の製造工程は安易に変更できないため、科学的アプローチに基づいたチェックポイント(懸念事項)を抜けなく洗い出し、技術的な確認を漏れなく実施する必要がある。例として、図4に大型表面処理槽への液面放熱対策として市販フロートを採用した事例を示す。液面放熱対策用のフロートとして、比較的安価で耐薬品性を持つ樹脂製の市販品を選定した(図4(a))。液面に浮遊する樹脂製フロートの適用メリット(図4(b))としては、90℃の表面処理槽のエネルギー使用量を約48%削減することが可能である。一方で、対象の表面処理槽は、航空機の外板パネルや補強材に対応しており、生産性の観点から、フロートの溶解性、槽内の温度均一性を始めとする複数のチェックポイント(懸念事項)が存在する(図4(c))。これらの影響を技術的に確認・評価し、問題ないことを科学的根拠に基づいて証明した上で適用を行っている。

表2 グリーン製造を実現する設備別の標準ガイドライン

設備	製造工程	対策			チェックポイント (懸念事項)
		対策切り口	対策効果	適用 難易度	
生産空調	機械加工, 複合材成形, 塗装, 組立・艤装	排気量見直し	▲8%	低	作業環境(有機則), 清浄度要求
		設定温度見直し	▲10%/℃	低	対象毎のプロセス要求
		設備暖気運転の最小化	▲5~10%	低	設備・工程要件, 対象物温調査等
		LT 低縮:稼働時間最小化	(対象毎)	低~中	全体製造フロー, ボトルネック工程
		建屋断熱対策	▲10~15%	中~高	(法令規則, 建屋断熱仕様)
		外環境に沿った自動制御化	▲30%	中~高	(構成設備, 吸排気仕様, 運転条件)
加熱炉	熱処理, 塗装, 複合材成形	運転条件, 集約運転化	(対象毎)	低	対象処理品, プロセス要求
		炉内循環ファンチューニング	▲10~40%	低	対象処理品, プロセス要求
		冷却水温見直し(真空炉)	▲20%	低	(設備用シール耐熱性評価)
		断熱対策	▲5%	中	熱ロス調査, 設備管理要求
		直接加熱プロセスの採用	▲15%~25%	中~高	対象処理品, プロセス要求
対人空調	非環境 要求工程	設定温度見直し	▲10%/℃	低	作業者へのヒアリング (懸念点洗出し)
		省エネ部材の活用	(▲13%)	中	メーカー調査
表面 処理槽	表面処理, 洗浄	液面放熱対策	▲20~30%	低	熱ロス調査, 設備管理要求, 溶解性等
		液温低温化	~▲30%	低	プロセス要求, 生産管理値等
		新規低温洗浄剤の活用	(不明)	中	設備要求, プロセス要求
		エア攪拌から対流攪拌化	▲30%	中~高	設備要求, プロセス要求
加工機	機械加工, 成型, A/R(自動穴あけ・締結)	詳細電力見える化ムダ取り	▲10~20%	低	設備要求, プロセス要求
		回転負荷軽減	▲18%	中	設備要求, プロセス要求, LT 要求
		高能率切削工具の採用	▲10~15%	中~高	設備要求, プロセス要求
コンプレッサ	組立・艤装, 複合材成形	吐出圧低減	▲15%	低	ネック工程設備要求, プロセス
		排熱利用設備の活用	▲20%	中	(設備要求)
冷凍庫	成形(アルミ) 組立・艤装(シール)	保管温度見直し	▲29%	低	設備要求, プロセス要求
		放熱防止蓋の設置	▲10%	低	設備要求, プロセス要求
		在庫最小化による 運用見直し	▲70%	中~高	プロセス要求 (ハイレート生産時のみ)

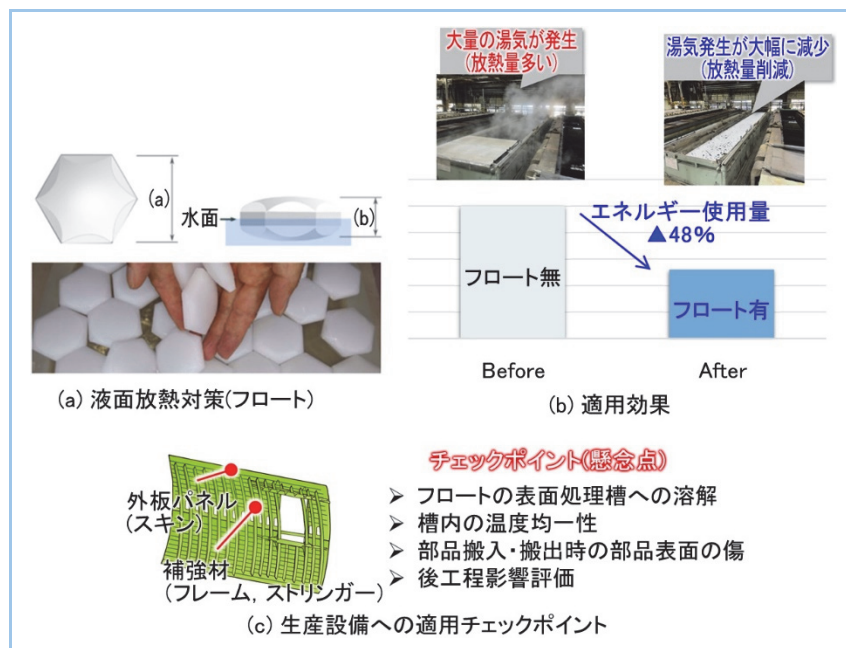


図4 表面処理槽における放熱対策

3.2 エネルギー診断ツール

スキームの“2. 分析”において、ポイントとなるエネルギー診断ツールの概要を紹介する。例として、アルミ合金部品用の大型熱処理炉の分析結果を用いる。図5に、対象炉の加熱エリア模式図を示す。この熱処理炉は、数メートル級の部品を処理する大型設備であり、循環ファンにより炉内空気を循環させ、製品を加熱する仕様である。

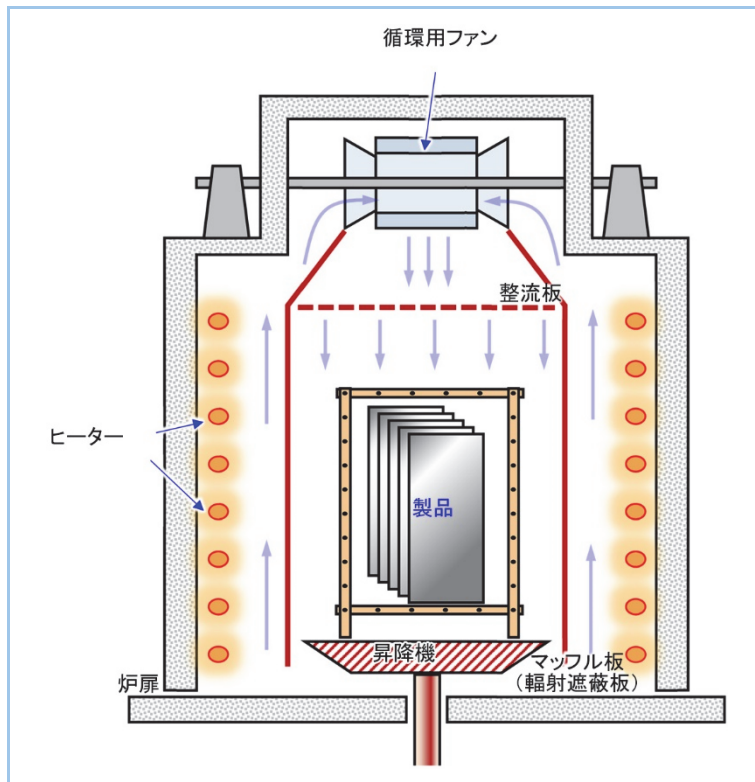


図5 熱処理炉の模式図

既存の計測ツールでは、大江工場の熱処理や表面処理設備などの熱利用設備における効果的な対策ポイントの判断が難しいという課題があった。そこで、エネルギーロスの内訳が視える化できるツールを独自に開発した。このエネルギー診断ツールは、図6(a)に示す設備のインプット情報（加熱条件・設備仕様・処理する内容物の仕様）を所定項目に入力すると、熱収支計算を自動で実行し、図6(b)の対象炉におけるエネルギー使用内訳の割合をアウトプット情報として提供が可能である。このツールにより、エネルギーロスの箇所を可視化し、改善の攻めどころを明確になるだけでなく、これまで注目していなかった改善ポイントも発見できるようになった。

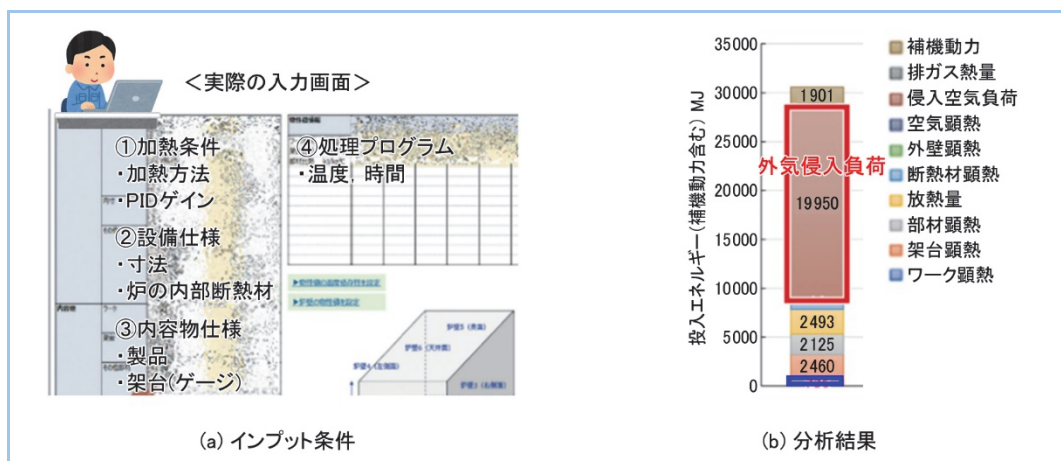


図6 エネルギー診断ツールの概要

4. 成果・効果

2023 年度以降のグリーン製造スキームを活用した省エネ化の取組みにて、様々な生産設備に対して、大規模投資せずに、計 64 案件の改善を行った。CO₂ 排出量削減効果としては、累積で 2024 年度工場全体の約 10%を削減する成果が得られた。削減成果の内訳を図 7 に示す。図 7(a) は、適用した案件の設備カテゴリー別適用件数、図 7(b)は設備カテゴリー別削減効果の内訳を示す。設備カテゴリー別適用件数は多い順から、熱処理、生産空調、表面処理、機械加工である。一方で、適用効果額では、生産空調、表面処理、熱処理、塗装の順となっており、生産空調が適用件数に比べて、適用効果が大きくなることが分かった。大型で精度要求の高い航空宇宙部品の製造においては、組立工程、艀装(シール)工程、機械工程の温湿度制御のために生産空調を用いることが多く、多大なエネルギーを消費していることが要因と想定される。本活動にて省エネ化に成功した生産空調を始めとした様々な生産設備は、当社グループの各工場でもエネルギー消費量の多い設備であり、水平展開を図っていく。

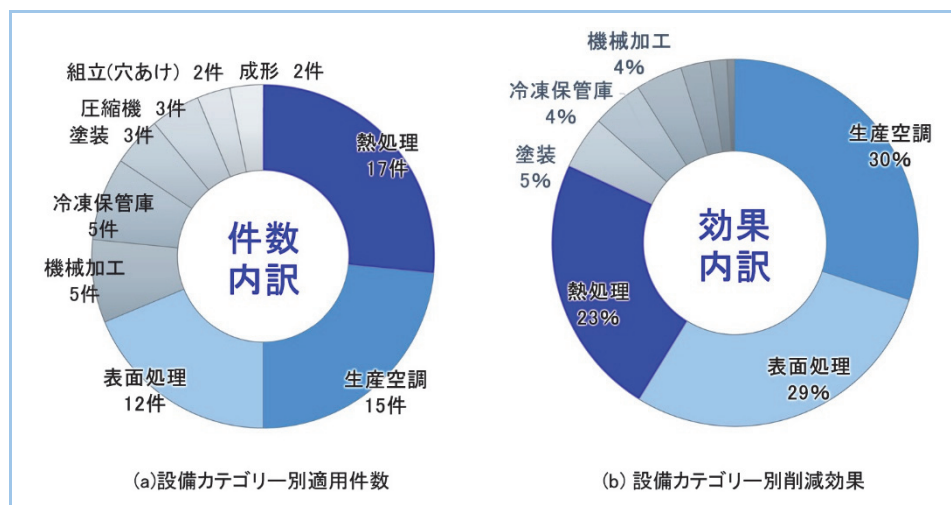


図7 本活動の適用案件分析

5. まとめ

2023 年度より工場全体設備への展開と全体最適化視点から大江工場の生産設備を対象に、高い品質が求められる航空宇宙部品に対して、グリーン製造を実現し、工場動力費及び CO₂ 排出量の 10%削減を実現した。具体的な特徴としては、部門の垣根を超えた体制構築、安全性・生産性と設備の省エネを両立するスキームの構築、設備のエネルギー診断ツール開発である。今後、本活動で得た成果を当社グループ内へ効率的に水平展開する上で、省エネ検討プロセス・手順の多くが暗黙知の状態であることが課題となっている。そこで、本活動で構築してきた推進体制、可視化手法、スキームなどのノウハウを、第三者が理解・活用できるように標準化(形式知化)も進めていくことで、当社グループのカーボンニュートラル化に一層貢献していく。

参考文献

- (1) 村上 慎祐ら, MISSION NET ZERO:三菱重工グループにおけるカーボンニュートラルの取組み- 持続可能で安全・安心・快適な社会の実現に向けて-, 三菱重工技報 Vol.59 No.4 (2022)
- (2) 仲谷 潤之助ら, 三菱重工グループ工場のカーボンニュートラルに向けた取組み, 三菱重工技報 Vol.59 No.4 (2022)