

電力中央研究所 研究資料

NO. Y19505

産業部門における電気加熱の生産性便益
— 評価方法の現状と課題 —

2020年3月

一般財団法人 電力中央研究所

IR

CRIEPI

Central Research Institute of
Electric Power Industry

産業部門における電気加熱の生産性便益 —評価方法の現状と課題—

向井 登志広^{*1} 安岡 絢子^{*2}

^{*1}社会経済研究所 エネルギーシステム分析領域 主任研究員

^{*2}エネルギーイノベーション創発センター カスタマーサービスユニット 主任研究員

背景

産業部門の脱炭素化には、再生可能エネルギー電源等の導入拡大と生産工程における熱需要の電化が有効であると考えられる。電気加熱に対する設備投資を促すためには、生産工程に電気加熱を導入した際のランニングコスト削減や生産効率改善といった便益について十分に理解される必要がある。

目的

電気加熱の導入による省エネ効果や生産改善効果の評価事例を収集し、評価方法や結果について傾向把握するとともに、生産性便益の評価方法について改善点を考察する。

主な成果

日本エレクトロヒートセンターの機関誌『エレクトロヒート』にて 2016～2019 年に公表された計 70 件の事前・事後評価事例を傾向分析したところ、以下の結果を得た。

1. 電気加熱の種類別の省エネ・生産性便益の傾向

省エネ効果の指標として採用されやすいエネルギー使用量削減率やランニングコスト削減率について評価結果を報告した事例を集計したところ、ヒートポンプや MVR^注に関する事例が多めであった（図 1a）。一方で、生産性便益の中でも定量評価事例が多い加熱時間短縮効果については、赤外・遠赤外線加熱、マイクロ波加熱、高周波誘電加熱、誘導加熱など電磁波加熱の評価事例や、抵抗加熱、過熱水蒸気加熱の評価事例に関して見られた。特に短縮効果が高いのは電磁波加熱の評価事例であった（図 1b）。

2. 電気加熱の生産性便益の評価項目や方法

電気加熱の生産性便益について、「生産工程」、「運用保守」、「作業環境」に分類して整理したところ、運用保守や作業環境の改善に関しては、報告例がない電気加熱の種類も複数見られた（表 1）。理由として、電気加熱の種類によって生産性便益が異なる点や、評価者が運用保守・作業環境に関する便益を評価対象に含めていない点が考えられる。

次に、生産性便益を「金銭評価」、「非金銭評価」、「定性評価」に分類して整理したところ、金銭評価と比べて非金銭評価・定性評価の事例が多い傾向が見られた（表 2）。電気加熱の導入促進のためには、定量評価が比較的しやすい省エネ便益のみを評価対象とするのではなく、加熱時間短縮による人件費減など生産性便益を含めた包括的な評価が必要である。

今後の展開

生産性便益の高い電気加熱の普及を促すため、作業環境改善など定量評価が困難な生産性便益について評価方法を検討する。

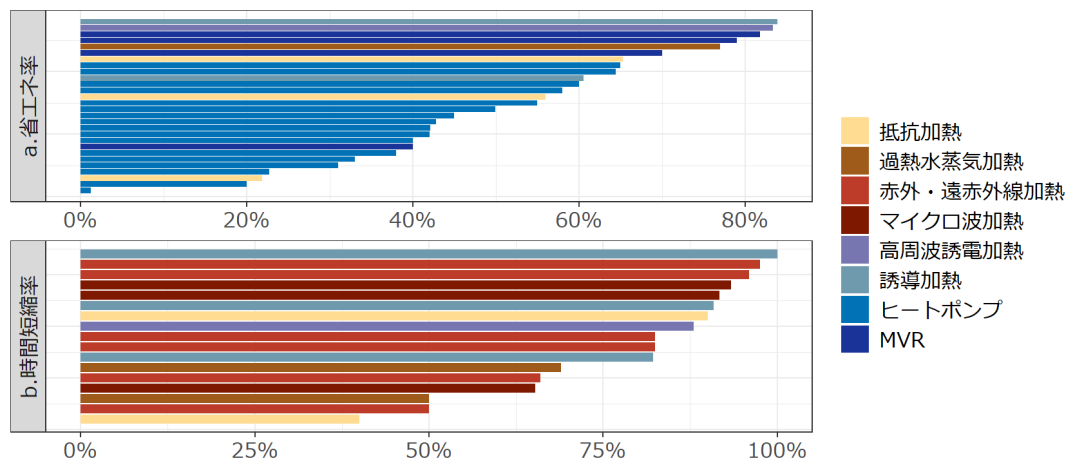


図1 評価事例における省エネ効果 (n=28) と加熱時間短縮効果 (n=17)

表1 電気加熱の種類別の生産性便益

種類	便益①生産工程	便益②運用保守	便益③作業環境
抵抗加熱	加熱時間短縮、焦げ・加熱温度ムラの低減、品質安定化、品質向上、自動化、設備コンパクト化	省メンテナンス、清掃頻度減、炉体長寿命化	放熱ロス減少
プラズマ加熱	—	—	—
過熱水蒸気加熱	加熱時間短縮、加熱温度ムラの低減、少量多品種生産への対応、水分・栄養素・風味が逃げにくい、省スペース化、室温上昇抑制	安価洗浄剤へ代替、廃棄物処理コスト減	食品加工時の臭み除去、引火性がないため安全
電磁波加熱	赤外・遠赤外線加熱	加熱時間短縮、生産工程長の短縮、設備コンパクト化、塗装性能向上、製品寸法精度向上、省人化、温度制御性向上、不良品発生率の減少、製造原価減	揮発性有機化合物排出削減
	マイクロ波加熱	加熱時間短縮、設備コンパクト化、添色抑制による品質向上、多品種化	—
	高周波誘電加熱	加熱時間短縮	—
	誘導加熱	加熱時間短縮、再塗布回数の減少、品質向上、生産量増	—
ヒートポンプ	工程の安定化、工程制御性向上、除湿能力向上	省メンテナンス	—
MVR ^{注)}	分離性能向上、工程の自動化、工程の安定化、品質安定化、製造原価減	—	臭気減少

表2 評価事例における指標別の生産性便益


種類	便益の例 (評価指標)
金銭評価	<ul style="list-style-type: none"> 工程省人化による人件費減 (円/個) 不良品発生率の減少による製造原価減 (円/個) 濃縮廃液の有価引取り実現による収益増 (円)
非金銭評価	<ul style="list-style-type: none"> 加熱時間短縮 (分、時) 設備のコンパクト化・工程の短縮化 (m, m², m³) 省メンテナンス (回/日)・清掃頻度減 (回/日) 工程安定性 (mmAq; 圧力制御) 作業エリア放熱減 (°C) 作業エリア騒音減 (dB) 揮発性有機化合物 (VOC: Volatile organic compounds) の排出減 (g/m²) 生産量増 (数量/日)
定性評価	<ul style="list-style-type: none"> 生産工程関連: 品質向上、品質安定化、加熱温度ムラの低減、少量多品種生産 運用保守関連: 加熱設備の長寿命化、稼働停止リスク減、安価洗浄剤への代替 作業環境関連: 引火性がなく安全、作業エリア臭気減、作業員の満足度向上

注) MVR: Mechanical Vapor Recompression の略。ヒーターで蒸発させた蒸気を蒸気圧縮機によって断熱圧縮して昇温し、その高温蒸気を自己のヒーターの加熱源として再利用することで潜熱利用する蒸発装置。

IR

CRIEPI

Central Research Institute of
Electric Power Industry



研究資料
産業部門における電気加熱の生産性便益
－評価方法の現状と課題－

電力中央研究所

社会経済研究所
主任研究員 向井登志広

エネルギーイノベーション創発センター
主任研究員 安岡絢子

2020年3月

 電力中央研究所

© CRIEPI 2020

1



 電力中央研究所

目次

1	背景と目的	3
2	電気加熱の評価事例の収集	8
3	電気加熱の導入による省エネ便益	12
4	電気加熱の導入による生産性便益	17
5	考察と課題	22
	参考文献	26

1 背景と目的

背景①：産業部門の脱炭素化と電化バリア

- ◆ 我が国は、2019年6月に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を策定し、2050年までに80%の温室効果ガス排出削減を目指すことが明記された。
- ◆ 産業部門の脱炭素化には、再生可能エネルギー電源等の導入拡大と生産工程における熱需要の電化が有効であると考えられる。しかし、熱需要の電化にはバリア要因が指摘されている。バリア解消に向けた対策には、**導入事例から得られる知見の共有**（下表⑧）や**電気加熱の初期費用の高さや長い投資回収期間の緩和**（下表⑫）などが含まれ、包括的で早急な対策を要する。

対策の時間軸	産業部門の電化バリア解消に向けた対策（バリアの種類）
短期～	①脱炭素化に向けた、長期的電化計画の作成（規制的） ②政府/産業や異産業分野間など、利害関係者間の協力（組織的） ③ヒートポンプの高温利用に向けた技術開発（技術的） ④設備費用減など技術開発への経済インセンティブ増（経済的・技術的） ⑤再生可能エネルギー電気の供給量増（技術的・規制的） ⑥革新技術の知識獲得に向けた実証事業の実施（技術的・組織的） ⑦革新技術の実証事業に対する経済インセンティブ増（経済的・規制的） ⑧ ベストプラクティスなど導入事例の知識/情報の共有（組織的） ⑨電気利用・系統接続にかかる費用減（経済的・規制的） ⑩電気加熱の普及を阻害するエネルギー税制の再設計（経済的・規制的）
中期～	⑪電気加熱を含む生産工程の全体最適設計に向けた研究開発（技術的） ⑫ 設備投資に要求される、短い投資回収期間の緩和（組織的・規制的） ⑬グリーンボンドなど資金調達のためのスキーム整備（規制的）

Berenschot (2017) を参考に筆者作成

背景②：省エネ対策の多面的便益

- ◆ 工場設備担当者が電気加熱を導入する場合、生産工程の省エネ対策、すなわち、生産工程のランニングコスト削減を目的の一つとしている場合が多い。
- ◆ 他方、省エネ分野の研究に目を向けると、省エネ対策には光熱費削減メリットの他にも、**多面的な便益 (Multiple benefit)** が創出される場合があり、多面的便益の定量化に関する研究が行われている。
- ◆ 例えば、国際エネルギー機関 (IEA, 2014) は省エネ対策における多面的便益をレビューしており、その一つとして**産業部門における省エネ対策の生産性向上メリット**を指摘している。

分野	多面的便益の例
経済発展	省エネ投資やエネルギー需要減による、経済成長・雇用創出・エネルギー価格やエネルギー輸出入バランスの改善
公的予算	省エネ投資による税収増・福祉や雇用創出関連支出減；エネルギー需要減による公的機関のエネルギーコスト減；エネルギー関連補助金の節約
健康・福祉	断熱改修や暖房・調理効率化による健康改善・快適性向上・欠勤頻度低下・業績向上
産業の生産性	生産性や競争力の向上；環境規制等の準拠に要する費用減；従業員の労働環境の改善
エネルギーシステム	発送配電に係る各種の費用減

IEA(2014)を参考に筆者作成

背景③：電気加熱の生産性便益 および本研究の目的

- ◆ 省エネ対策の生産性便益として、生産改善、運用保守、作業環境、温室効果ガス排出削減などが挙げられる。既往研究では、米国の産業部門において実施された省エネ対策52件について、ランニングコスト削減メリットのみを考慮した場合、投資回収年数が平均4.2年であったのに対して、生産性便益を考慮することで平均1.9年に短縮したと報告する事例がある (Worrel, et al., 2003)。
- ◆ 企業が設備投資を計画する際、要求される投資回収期間は1～3年と短いため、投資回収期間の短縮化は設備導入促進の一助となる可能性がある。しかし、このような検討を電気加熱に着目して実施した例はない (Jadun, et al., 2017)。
- ◆ そこで本研究では、電気加熱による生産性便益の定量化に向けた基礎調査として、**電気加熱の導入効果を事前・事後評価した事例を収集し、評価方法や結果について傾向把握するとともに、生産性便益の評価方法について改善点を考察する。**

分類	電化による多面的便益の具体例	企業の便益	社会的便益
経済効率向上	生産活動に係るコスト減	○	○
経済成長	雇用創出、資本更新		○
省エネルギー	生産活動におけるエネルギー使用量の減少	○	○
環境貢献	CO ₂ 排出減、廃棄物減、水資源の効率利用	○	○
生産性向上	生産量増、エネルギー原単位減、品質向上	○	○
安全性向上	事故による稼働停止時間や怪我・死亡事故の減少	○	○

Dennis (2016)を参考に筆者作成

電気加熱導入による生産性便益の例

◆ 下記に、電気加熱の導入事例および省エネ・生産性便益の評価例を示す。

企業名	電気加熱の種類	省エネ便益・生産性便益
三洋化学工業(株) 鹿島工場	排水濃縮にヒートポンプを導入	・エネルギー使用量1184kL減(95%) →名古屋工場での導入へ波及
東芝キャリア(株) 富士工場	塗装乾燥工程に誘導加熱を導入	・塗料内ガス溜まりが解消され、 品質向上 に寄与 ・ 加熱時間短縮 化や 設備縮小 化、多品種生産を検討中
キリンビール(株) 仙台工場	ヒートポンプで排水層の廃熱回収	・エネルギー使用量649kL/年減(電気82万kWh増) ・3年で投資回収を達成
(株)小松電業所	塗装乾燥工程に赤外加熱導入	・エネルギー使用量139kL/年減(50%) ・ 炉長短縮 52→32m(38%)、 稼働時間3-4時間減 ・生産量増(1.8倍)
富士電線(株)	銅線のすずメッキ工程に抵抗加熱を導入	・エネルギー使用量69%減 ・加熱制御性向上により、 すずロス削減 ・すず溶解にかかる 時間短縮 (半分近く)
(株)平岩製鉄所 亀ヶ下工場	金型加熱に誘導加熱を導入	・電気使用量減(28%、冬季の場合) ・ 加熱時間減 (90%、冬季の場合)
第一高周波工業(株)	レーザー加熱	・高速で精密な熱処理加工が可能に

日本エレクトロヒートセンター「エレクトロヒート技術に関する最新の導入事例をレポート」、
2019年5月7日公開 <https://www.youtube.com/watch?v=YwKom3z4bkc>

2 電気加熱の評価事例の収集

導入事例の収集

- ◆ 導入事例は、日本エレクトロヒートセンターが隔月で刊行している機関誌『エレクトロヒート』の特集記事から収集した。同誌記事には、導入技術・導入工程・導入後の省エネ効果/生産性便益を詳細に報告しているという利点がある。
- ◆ 多様な電気加熱について最新事例を収集するため、2016年から2019年までに刊行された下表14冊にて報告されている事前・事後評価事例、計70件を収集した。
- ◆ 省エネ対策の生産性便益に関する既往研究※では、5～77件の事例を対象としている。これらと比較して本研究の対象事例数は少なくないものの、一方で、事例数の増加により電気加熱種類別の便益傾向がより明確に確認できるようになる可能性はあり、更なる事例収集は今後の課題である。

『エレクトロヒート』特集テーマ	発刊年月	号	『エレクトロヒート』特集テーマ	発刊年月	号
誘導加熱技術：産業における応用	2019年9月	227	マイクロ波加熱・高周波誘電加熱の最新動向	2017年9月	215
電化シフト/熱利用分野の脱炭素化に向けて	2019年7月	226	乾燥工程のエレクトロヒート技術	2017年7月	214
廃熱活用技術Ⅲ	2019年5月	225	工場廃熱活用技術	2017年5月	213
第13回エレクトロヒートシンポジウム	2019年3月	224	第11回エレクトロヒートシンポジウム	2017年3月	212
エレクトロヒートの基礎を支える抵抗加熱システム	2018年9月	221	MVR (Mechanical Vapor Recompression)、自己熱再生	2016年9月	209
工場廃熱活用技術Ⅱ	2018年7月	220	赤外線加熱技術	2016年7月	208
第12回エレクトロヒートシンポジウム	2018年3月	218	第10回エレクトロヒートシンポジウム	2016年3月	206

※Lilly and Pearson (1999)、Finman and Laitner (2002)、Worrel et al. (2003)など。

事例概要：電気加熱の種類と用途 (1/2)

- ◆ 本研究では、各種情報※1をふまえ**9種類の電気加熱を集計対象とした**：抵抗加熱、プラズマ加熱、ヒートポンプ加熱、自己蒸気機械圧縮装置 (MVR※2)、赤外・遠赤外線加熱、マイクロ波加熱、高周波誘電加熱、誘導加熱、過熱水蒸気加熱。

種類	収集事例における電気加熱の用途
抵抗加熱	食品：貯蔵糖液保温、液体調理 鉄鋼非鉄：アルミ溶解保持、鋼材部品の浸炭処理
プラズマ加熱	鋼鉄非鉄：溶解
ヒートポンプ	食品：蒸留による廃液メタノール回収、洗浄液加温、飲料充填後ビンの殺菌 (パストライザー)、排水温度調節、殺菌排水熱ボイラ利用、圧縮空気製造 (コンプレッサー) 室の温度調整、麹・醗酵タンク冷却、食品工程の冷却・給湯利用 機械：塗装処理前の脱脂・湯洗・化成、含浸廃水濃縮、機械部品の塗装乾燥 電子デバイス：精密加工室などの温湿調整、クリーンルーム空調 紙パルプ印刷：乾燥 (ドライラミネート)
自己蒸気機械圧縮装置 (MVR※2)	食品：海水濃縮、糖液濃縮、調味料濃縮、麦汁煮沸、蒸留によるアルコール精製、蒸留による廃液メタノール回収 電子デバイス：メッキ排水濃縮による産廃減容化、蒸留による有機溶剤分離 紙パルプ印刷：トナー原料製造時の排水濃縮

※1：中条 (2016)、中部電力エネルギー応用研究所 (2003)、日本エレクトロヒートセンターウェブサイト、山本ビニター社ウェブサイト、中部電力ソリューションサービスウェブサイト、等。

※2：MVRはMechanical Vapor Recompressionの略。ヒーターで蒸発させた蒸気を蒸気圧縮機によって断熱圧縮して昇温し、その高温蒸気を自己のヒーターの加熱源として再利用することで潜熱利用する蒸発装置。

事例概要：電気加熱の種類と用途（2/2）

種類	産業別のプロセス用途
電磁波加熱	赤外線加熱・遠赤外線加熱 食品：食品乾燥、味付け乾燥、ペットフード乾燥 電子デバイス：基板用材料塗膜の乾燥 機械：自動車塗装乾燥、金属部品の粉体塗装乾燥 化学：プラスチックのアニール（歪み取り）処理、樹脂成型品の水性塗装乾燥 紙パルプ印刷：印刷乾燥
	マイクロ波加熱 食品：膨化乾燥 鉄鋼非鉄：ロストワックス鋳型乾燥 化学：脂肪酸エステル製造
	高周波誘電加熱 化学：フィルム塗工樹脂の乾燥
	誘導加熱 鉄鋼非鉄：高圧ボンベ加工、溶解、キューボラ製造 機械：金型コーティング 化学：廃プラスチック熱分解、樹脂成型加工
過熱水蒸気加熱	食品：食品凝縮・乾燥・焼成 電子デバイス：基板乾燥 機械：部品加熱・乾燥、部品洗浄乾燥



3 電気加熱の導入による省エネ便益

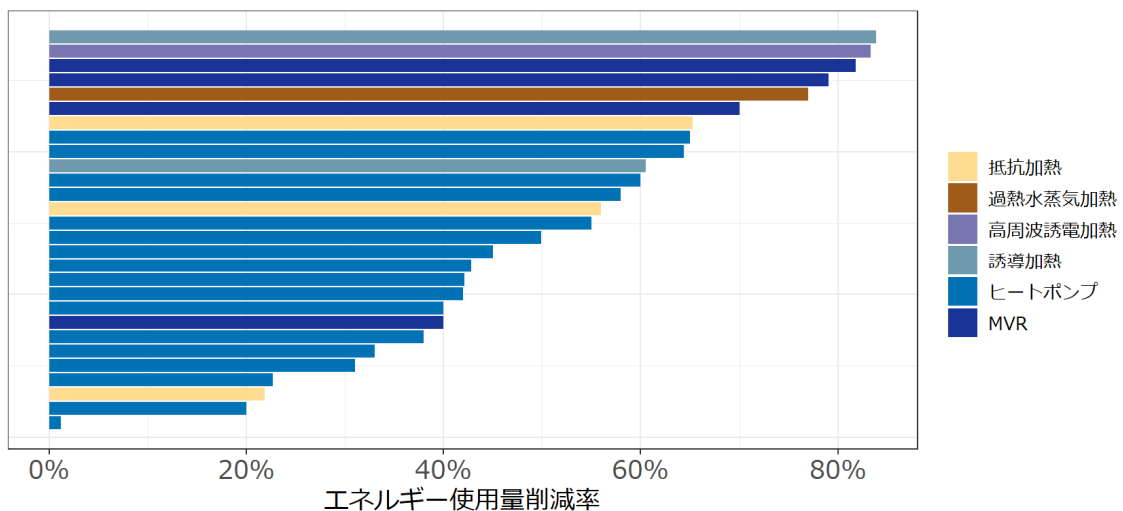
省エネ効果の報告事例数

- ◆ 省エネ効果は多様な評価指標により報告されている。
 - 評価単位の例：①エネルギー使用量削減率（%）、②単位時間あたりのエネルギー使用量削減量（例：kL/年、MJ/年）、③単位生産量あたりのエネルギー削減量（例：kL/kg、MJ/本）、④エネルギー効率成績係数（COP）、など
- ◆ 評価指標として採用されやすいエネルギー使用量削減率（%）に着目して、電気加熱の種類別に集計すると、**ヒートポンプにおいて事例数および削減率の報告事例数が多めであった**。成功事例が公表されやすいという出版物の一般的特性を考慮すると、省エネ効果が得られやすいヒートポンプの特徴が現れているものと考えられる。

電気加熱の種類	種類別の事例数	エネルギー使用量削減率を報告する事例数
抵抗加熱	5	3
プラズマ加熱	1	0
過熱水蒸気加熱	4	1
電磁波加熱	25	3
赤外・遠赤外線加熱	13	0
マイクロ波加熱	5	0
高周波誘電加熱	1	1
誘導加熱	6	2
ヒートポンプ	24	17
MVR	11	4
計	70	28

参考：省エネ効果の分布

- ◆ エネルギー使用量削減率にて省エネ効果を報告する事例（n=28）のうち、特に省エネ効果の高い事例は下記の通り。
 - 鉄鋼非鉄：誘導加熱炉による高圧ボンベ製造→削減率84%（伊達他、2016）
 - 化学：格子電極（高周波誘電）によるフィルム塗工樹脂乾燥→削減率83%（吉田、2017）
 - 電子デバイス：MVR型濃縮装置によるめっき排水減容化→削減率82%（湯淺、2017）



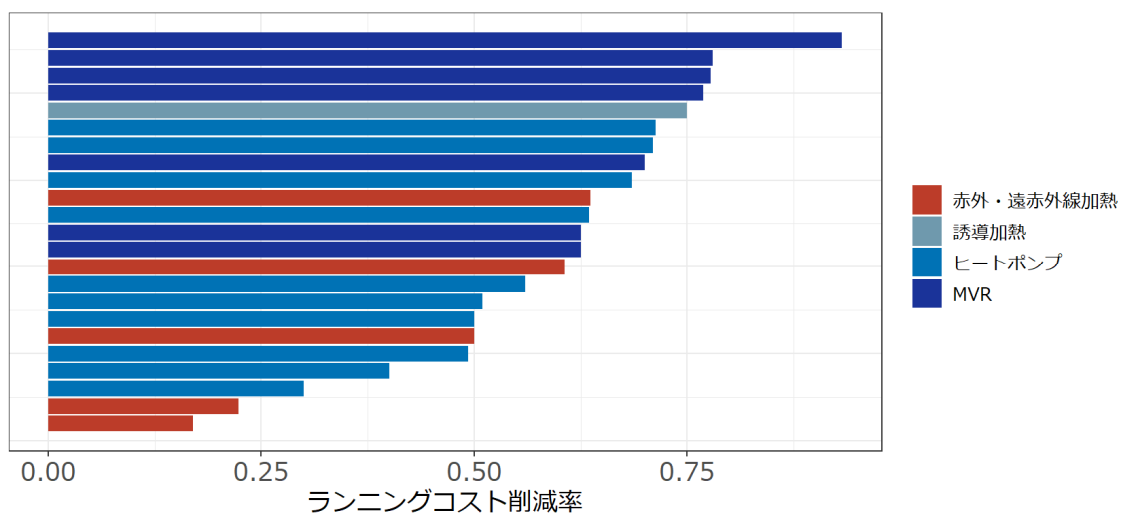
ランニングコスト削減効果の報告事例数

- ◆ ランニングコスト削減効果は多様な評価指標により報告されている。
 - 評価単位の例：①ランニングコスト削減率（%）、②単位時間あたりのランニングコスト削減額（例：円/年、円/月、円/時）、など
- ◆ 評価指標として採用されやすいランニングコスト削減率（%）に着目して、電気加熱の種類別に集計すると、**MVRやヒートポンプにおいて事例数や削減率報告事例数が多め**であり、省エネ効果やそれに伴うランニングコスト削減メリットが得られやすい技術特性が現れているものと考えられる。

電気加熱の種類	種類別の事例数	ランニングコスト削減率を報告する事例数
抵抗加熱	5	0
プラズマ加熱	1	0
過熱水蒸気加熱	4	0
電磁波加熱	25	6
赤外・遠赤外線加熱	13	5
マイクロ波加熱	5	0
高周波誘電加熱	1	0
誘導加熱	6	1
ヒートポンプ	24	10
MVR	11	7
計	70	23

参考：ランニングコスト削減効果の分布

- ◆ ランニングコスト削減率にて省エネ効果を公表する事例（n=23）のうち、特に省エネ効果の高い事例は下記の通り。
 - 電子デバイス：MVR型濃縮装置によるめっき排水減容化→削減率93%（小松他、2017）
 - 食品：MVR型濃縮装置による調味料濃縮→削減率78%（小松他、2017）
 - 食品：MVR型濃縮装置による糖液濃縮→削減率78%（松尾、2017）



4 電気加熱の導入による生産性便益

生産性便益の報告例：技術別

- ◆ 生産性便益を①生産工程、②運用保守、③作業環境に分類した。運用保守や作業環境の改善に関しては、報告例がない電気加熱の種類も複数見られた（表1）。理由として、電気加熱の種類によって生産性便益が異なる点や、**評価者が運用保守・作業環境に関する便益を評価対象として認識していない点**が考えられる。

種類	便益①生産工程	便益②運用保守	便益③作業環境	
抵抗加熱	加熱時間短縮、焦げ・加熱温度ムラの低減、品質安定化、品質向上、自動化、設備コンパクト化	省メンテナンス、清掃頻度減、炉体長寿命化	放熱ロス減少	
プラズマ加熱	—	—	—	
過熱水蒸気加熱	加熱時間短縮、加熱温度ムラの低減、少量多品種生産への対応、水分・栄養素・風味が逃げにくい、省スペース化、室温上昇抑制	安価洗浄剤へ代替、廃棄物処理コスト減	食品加工時の臭み除去、引火性がないため安全	
電磁波加熱	赤外・遠赤外線加熱	加熱時間短縮、生産工程長の短縮、設備コンパクト化、塗装性能向上、製品寸法精度向上、省人化、温度制御性向上、不良品発生率の減少、製造原価減	—	揮発性有機化合物排出削減
	マイクロ波加熱	加熱時間短縮、設備コンパクト化、添色抑制による品質向上、多品種化	—	—
	高周波誘電加熱	加熱時間短縮	—	—
誘導加熱	加熱時間短縮、再塗布回数の減少、品質向上、生産量増	—	放熱ロス減少、騒音減少、満足度向上	
ヒートポンプ	工程の安定化、工程制御性向上、除湿能力向上	省メンテナンス	—	
MVR	分離性能向上、工程の自動化、工程の安定化、品質安定化、製造原価減	—	臭気減少	

生産性便益の報告例：評価指標別

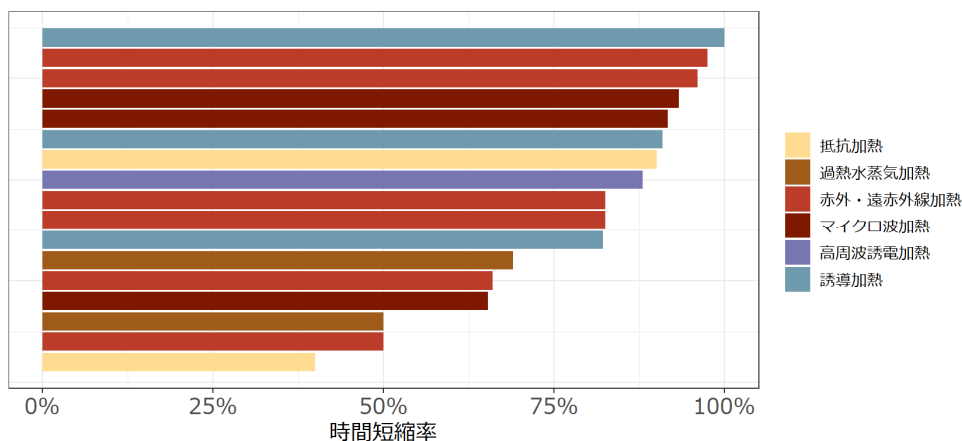
- ◆ 生産性便益を定量評価の3段階「金銭評価」「非金銭評価」「定性評価」にて分類した。**金銭評価の事例は比較的少ない**一方で、非金銭評価や定性評価の例は多様な項目が報告されている。

種類	便益の例（評価指標）
金銭評価	<ul style="list-style-type: none"> • 工程省人化による人件費減（円/個） • 不良品発生率の減少による製造原価減（円/個） • 濃縮廃液の有価引取り実現による収益増（円）
非金銭評価	<ul style="list-style-type: none"> • 加熱時間短縮（分、時） • 設備のコンパクト化・工程の短縮化（m、m²、m³） • 省メンテナンス（回/日）・清掃頻度減（回/日） • 工程安定性（mmAq；圧力制御） • 作業エリア放熱減（℃） • 作業エリア騒音減（dB） • 揮発性有機化合物（VOC：Volatile organic compounds）の排出減（g/m²） • 生産量増（数量/日）
定性評価	<ul style="list-style-type: none"> • 生産工程関連：品質向上、品質安定化、加熱温度ムラの低減、少量多品種生産 • 運用保守関連：加熱設備の長寿命化、稼働停止リスク減、安価洗浄剤への代替 • 作業環境関連：引火性がなく安全、作業エリア臭気減、作業員の満足度向上

非金銭評価の例：加熱時間の短縮

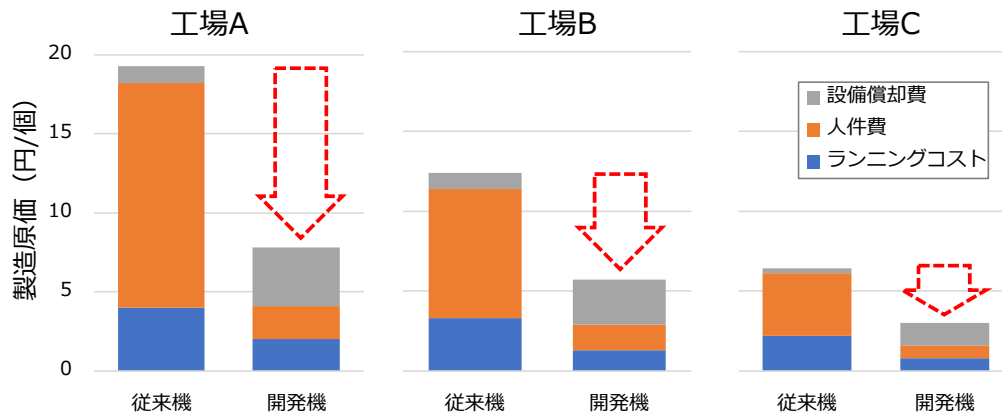
- ◆ 評価指標として採用されやすい**加熱時間短縮効果**（n=17）に着目して、電気加熱の種類別に集計すると、**電磁波加熱・抵抗加熱・過熱水蒸気加熱の評価事例**で報告されており、急速加熱のメリットを有する技術特性が現れている。特に短縮効果の高い事例は下記の通り。

- 化学：誘導加熱炉による廃プラスチック熱分解→余熱時間が0分に（波田、2017）
- 化学：遠赤外線加熱によるプラスチック成型時のアニール処理→2-8時間の処理工程が3-7分に（河村、2016）
- 食品：遠赤外線加熱による味付け乾燥→約50分の乾燥工程が約2分に（河村、2016）



金銭評価の例：遠赤外線加熱によるアニール処理

- ◆ 下図は、河村（2016）が開発したプラスチック成形時のアニール（歪み取り）処理装置について、3工場への導入を想定した事前評価結果を示している。開発機導入による、①設備償却費増、②省エネによるランニングコスト減、③時間短縮による人件費減、の3要因について製造原価に占める割合変動が金銭評価されている。
- ◆ 下図の評価結果に共通する傾向として、**加熱時間短縮による人件費削減効果が、省エネによるランニングコスト削減効果を上回っており、時間短縮効果の経済的メリットの高さを示唆している。**
 - 河村、2016、赤外線加熱によるプラスチック製品のアニール（歪取り）および“えびせんべい”の味付け乾燥への適用について、『エレクトロヒート』No.206、p36-40.



5 考察と課題

考察：生産性便益を定量評価することの意義

- ◆ 本研究では、電気加熱の事前・事後評価事例を収集し傾向分析を行った。その結果、省エネ効果やランニングコスト削減メリットが高いヒートポンプやMVR（スライド13-16）、時間短縮効果が得られやすい電磁波加熱・抵抗加熱・過熱水蒸気加熱（スライド18,20）といった、電気加熱の種類別の便益傾向が見られた。
- ◆ 現状では、電気加熱の導入効果を事前・事後評価する際、定量化がしやすい省エネ便益を定量評価の対象とする場合が多い傾向にある。しかし、省エネ以外の生産性便益が得られやすい技術は、導入メリットが認知されず、技術普及を阻害する懸念が生じる。下図に示すように、省エネ便益は生産活動における要素の一部であることを認識し、生産性便益の定量価値を含めた包括的な評価が必要である。

分類	生産要素	便益/費用の例	金銭評価の難易度
生産活動の アウトプット	品質・品種	品質向上・少量多品種生産などによる売上増	困難
	数量	生産量増による売上増	困難
	価格	製造原価減による利益増	困難
生産活動の インプット	労働時間	加熱時間短縮・省人化による人件費減	可能（報告事例少）
	労働効率	作業環境改善・満足度向上による作業効率向上	困難
	設備	初期費用・設備償却費	可能（報告事例少）
	エネルギー	省エネによるランニングコスト減	容易
	原材料など	省資源化によるランニングコスト減	可能（報告事例少）

考察：生産性便益の定量評価に向けて（1/2）

- ◆ 企業の生産管理の視点に立つと、設備投資計画の実施判断は投資回収期間により判断される。投資回収期間は、投資額を投資によって得られるキャッシュフローの平均値で割ることで算出する。キャッシュフローには、エネルギーコスト削減以外にも、品質・品種・数量・価格といった生産活動のアウトプット関連の要素や、労働時間・労働効率・設備・原材料といった生産活動のインプット関連の要素がある（前頁表を参照）。**生産性便益を企業の意思決定に組み込んでいくためには、これら生産要素に関連づけて定量評価していくことが効果的**であると考えられる。
- ◆ 定量評価する上では、生産要素別での金銭評価の難易度を考慮する必要がある（前頁表を参照）。まず、金銭評価は可能だが報告事例が少ない項目がある。例えば、加熱時間短縮・省人化による人件費削減効果や、省資源化によるランニングコスト削減効果などが当てはまる。これらは、**金銭評価事例を増やし、評価の必要性について認知度を高めていくことが有効**であると考えられる。
- ◆ たとえば、加熱時間短縮の金銭評価を行っている数少ない事例（スライド21）では、加熱時間短縮による人件費削減効果が、省エネによるランニングコスト削減効果を上回っており、便益のポテンシャルの高さを示唆している。単一事例を拡大解釈することは避けるべきだが、加熱時間短縮の非金銭評価事例が多いのも事実である（スライド20）。設備投資計画において、**これら生産性便益を金銭価値として含めることで、産業電化バリア対策の一つである投資回収期間の短縮化（スライド4）に寄与する可能性もある。**

考察：生産性便益の定量評価に向けて（2/2）

- ◆ 次に、金銭評価が困難な項目がある。これには、①成果が出現するまでに長い期間を要するために評価が困難な項目と、②非金銭的な定量評価自体が困難な項目の2種類に分類される。
- ◆ ①成果出現までに長期間を要する項目には、品質向上・少量多品種生産・生産量増による売上増や、製造原価減による利益増などが含まれる。これら生産性便益が、企業利益にどの程度寄与するかは、営業努力や市場環境にも影響を受ける。そのため、評価には**電気加熱の導入後数年間のフォローアップ調査が必要**になるものと考えられる。
- ◆ ②非金銭的な定量評価が困難な項目には、作業環境改善や従業員の満足度向上による労働効率の改善などが含まれる。労働環境と生産性の関連性については、たとえばオフィスビルなど他分野において検討がなされている（例えばNewsham, et al., 2017 ; Leder et al. 2016）。しかし、工場環境では、温湿度・工場の断熱性・空気質・騒音・明るさ・安全性といった工場独自の要素が従業員満足度やモチベーションに影響している可能性があり、**工場環境の特徴を踏まえた定量評価手法の検討が必要**である。

参考文献

参考文献 (1/3)

- ◆ Berenschot. (2017) Electrification in the Dutch process industry: In-depth study of promising transition pathways and innovation opportunities for electrification in the Dutch process industry, Netherlands Enterprise Agency.
- ◆ Cagno, E., Moschetta, D. & Trianni, A. (2019) Only non-energy benefits from the adoption of energy efficiency measures? A novel framework, *Journal of Cleaner Production* 212, pp. 1319-1333.
- ◆ Dennis, A. (2016) Electrification of Industry. Presented at the EPRI-IEA Workshop on Clean Energy and Electrification, Washington, D.C., November 30.
- ◆ Finman, H. and J. Laitner (2002), *Industry, Energy Efficiency, and Productivity Improvements*, US Environmental Protection Agency (US EPA) White Paper, US EPA, Washington DC.
- ◆ International Energy Agency (2014) Capturing the multiple benefit of energy efficiency.
- ◆ Jadun, Paige, Colin McMillan, Daniel Steinberg, Matteo Muratori, Laura Vimmerstedt, and Trieu Mai. 2017. *Electrification Futures Study: End-Use Electric Technology Cost and Performance Projections through 2050*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A20-70485. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70485.pdf>.
- ◆ Leder, S., Newsham, G. R., Veitch, Mancini, S. and Charles, K. E. (2016) Effects of office environment on employee satisfaction: a new analysis, *Building Research & Information* 44(1), pp.34-50.
- ◆ Lilly, P. and Pearson. D. A. (1999) Determining the Full Value of Industrial Efficiency Programs. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry Proceedings, pp.349-362.
- ◆ Nehler, T., Fredriksson, L., Friberg, S., Nordberg, T. & Thollander, P. (2018) Non-energy benefits of Swedish energy efficiency policy instruments: a three-levelled perspective, *ECEEE Industrial Summer Study Proceedings*, pp. 139-149.
- ◆ Nehler, T., Parra, R. & Thollander, P. (2018) Implementation of energy efficiency measures in compressed air systems: barriers, drivers and non-energy benefits, *Energy Efficiency* 11, pp. 1281-1302.
- ◆ Nehler, T. & Rasmussen, J. (2016) How do firms consider non-energy benefits? Empirical findings on energy-efficiency investments in Swedish industry, *Journal of Cleaner Production* 113, pp.472-482.

参考文献 (2/3)

- ◆ Newsham, G. R., Veitch, J. A., Zhang, M. Q., Galasiu, A. D., Henderson, I. S. and Thompson, A. J. L. (2017) Improving organizational productivity with building automation systems: Phase 1 – How better building strategies benefit organizational productivity metrics: a review and framework for evaluation, *Continental Automated Buildings Association*.
- ◆ Rasmussen, J. (2014) Energy efficiency investments and the concepts of non-energy benefits and investment behavior, *ECEEE Industrial Summer Study Proceedings*, pp. 733-744.
- ◆ Rasmussen, J. (2017) The additional benefits of energy efficiency investments: a systematic literature review and a framework for categorization, *Energy Efficiency* 10, 1401-1418.
- ◆ Wagner, C., Obermeyer, M. & Lühinger, R. (2020). A methodology for the assessment of multiple benefits of industrial energy efficiency measures. *SN Applied Sciences* 2(270).
- ◆ Worrel, E., Laitner, J.A., Ruth, M. & Finman, H. (2003) Productivity benefits of industrial energy efficiency measures, *Energy* 28, pp.1081-1098.
- ◆ 河村 (2016) 赤外線加熱によるプラスチック製品のアニール（歪取り）および“えびせんべい”の味付け乾燥への適用について、『エレクトロヒート』No.206、p36-40.
- ◆ 小松・井上・朝倉 (2017) 蒸発濃縮工程におけるヒートポンプ式減圧蒸発装置（MVR）の導入事例、『エレクトロヒート』No.212、p21-26.
- ◆ 伊達・井上・松田 (2016) 高圧ポンプ製造工程への誘導加熱炉の導入事例と計測評価結果について、『エレクトロヒート』No.206、p17-22.
- ◆ 中条 (2016) エレクトロヒートによる生産プロセスの革新、『エレクトロヒート』No.206、p11-16.
- ◆ 湯浅 (2017) MVRの導入事例、『エレクトロヒート』No.213、p37-40.
- ◆ 松尾 (2017) 糖液および溶剤の濃縮工程におけるMVR型の蒸発および蒸留装置の導入事例、『エレクトロヒート』No.220、p38-41.
- ◆ 吉田 (2017) 高周波誘電加熱を利用した応用事例について、『エレクトロヒート』No.215、p41-47.
- ◆ 浜屋敷 (2019) 産業用ヒートポンプ活用による省エネルギーの取り組みの現状、『省エネルギー』Vol.71、No.10、p26-31.

参考文献 (3/3)

- ◆ 中部電力エネルギー応用研究所 (2003) 電気式加熱技術の歴史、『技術開発ニュース』No.103、p27-28.
https://www.chuden.co.jp/resource/corporate/news_103_N10327.pdf
- ◆ 中部電力ソリューションサービスウェブサイト、電気加熱・冷却技術、最終アクセス日：2020年2月22日。
<https://bizene.chuden.jp/solution/inte/electrical/infrared/>
- ◆ 山本ビニター社ウェブサイト、高周波誘電加熱技術情報、最終アクセス日：2020年2月22日。
<http://www.vinita.co.jp/institute/radiofrequency/>
- ◆ 日本エレクトロヒートセンターウェブサイト、エレクトロヒート情報、最終アクセス日：2020年2月22日。
http://www.jeh-center.org/EH-info_new.html
- ◆ 日本エレクトロヒートセンター (2016) 『エレクトロヒート』No.206~210.
- ◆ 日本エレクトロヒートセンター (2017) 『エレクトロヒート』No.211~216.
- ◆ 日本エレクトロヒートセンター (2018) 『エレクトロヒート』No.217~222.
- ◆ 日本エレクトロヒートセンター (2019) 『エレクトロヒート』No.223~227.
- ◆ 日本エレクトロヒートセンター「エレクトロヒート技術に関する最新の導入事例をレポート」、2019年5月7日公開、最終アクセス日：2020年2月22日。
<https://www.youtube.com/watch?v=YwKom3z4bkc>

IR

CRIEPI

**Central Research Institute of
Electric Power Industry**

[不許複製]

編集・発行人 一般財団法人 電力中央研究所
社会経済研究所長
東京都千代田区大手町1-6-1
e-mail src-rr-ml@criepi.denken.or.jp

著作 一般財団法人 電力中央研究所
東京都千代田区大手町1-6-1
