

## 随想

## データと進化と

金沢大学 理工研究域 電子情報通信学系 教授 田中 康規



筆者は、大学にてエネルギー・熱プラズマ分野の研究に従事している。熱プラズマを用いた機能性ナノ粒子の大量生成、単結晶ダイヤモンド高速生成、代替ガス環境低負荷遮断器用のアーク遮断などの技術を開発し、現在のカーボンニュートラル社会・SDGs実現に向けた課題を少しでも緩和できればと考えている。しかし解決策はそう容易く生まれるものでなく、DX、Greenなどのワードに様々に考える日々である。物理現象を深く検討するとともに、様々な有効データをいかに活用し技術進化に貢献できるか、現時点での喫緊課題である。

この原稿を執筆している時、将棋界では藤井聡太五冠（竜王・王位・叡王・王将・棋聖のタイトルを有する）と羽生善治九段（永世七冠）との王将戦第3局が金沢で開催されている。筆者は将棋に関して完全な素人で全く詳しくはないが羽生九段と同じ1970年生まれであり、羽生九段のこれまでの驚異的記録を見ながら「凄い方がいるものだ」と常に羨望していた。その記録から「羽生九段を超える棋士は今後出てこないだろう」と言われていた。ところが藤井聡太さんの出現により、大記録がどんどん塗り替えられている。藤井聡太さんの強さは、強い負けず嫌いに裏打ちされた向上心と、幼少期からアナログ的に深く鍛え上げられた詰将棋を解く能力と詰将棋作成能力、中終盤での読みの深さとスピードであるようだ。40手以上の手数のある詰将棋を20秒程度で解いてしまう能力は圧巻である。さらに近年では将棋人工知能AIが極めて強くなり、その将棋AIを利用した学習による深い研究と局面を判断する能力がさらに進化し、ほぼ敵なしの状態となっているようである。人間の能力の進化というのは本当に素晴らしいものだと感じる。

私は将棋ソフト・AIにも詳しくはないが、2000年程度においては、場合数が極めて多い将棋に対しては強いソフトはできないだろうといわれていた。将棋ソフトの進化は、2005年に将棋ソフトBonanzaが保木邦仁さんによって開発・公開されてから一気に始まったようである。初期のBonanzaは、三駒関係による評価関数+全幅max-min探索（ $\alpha\beta$ 探索）型のソフトであり、数千万個あるパラメータを、棋士の棋譜を教師データとして機械学習させる。しかし、将棋では1手の選択枝（合法手）が平均50通り程度の合法手があるため、5手読むだけ $50^5=3.1$ 億局面が出現する。実際50通りのうち有効な手は平均10通り程度あるようでそれでも9手先の局面は $10^9=10$ 億局面となり、計算時間が膨大で深読みができない課題があった。その後、全幅探索でなくあまり有効でない手を大幅に枝切りする分枝限定技術や、深く読んだ結果を浅い結果にフィードバックする強化学習などが取り入れられ将棋ソフトはさらに強くなり、2017年第2期電王戦にて将棋ソフトPonanza（Bonanzaとは別のソフト）がついに佐藤天彦名人（当時）に勝利した。その後、評価関数へのニューラルネットワークNNの導入や探索技術の発展があり、全結合型NNのCPU-NUEE系AIが開発され強くなっている。一方で、GPUを用いる深層学習型（DL型）の将棋AIが出現し、手数を多数読まなくても有利に持ち込む手を選択可能になっているようである。その進化はすさまじい。

この強くなった将棋AIを活用することで人間側の将棋に対する理解が進み、人間側もまた強く進化しているようである。その最たるものが前述の『王将戦』の戦いである。驚異的なことは、中盤の未知局面においても、将棋AIが数億から数十億局面の比較計算から出した最善手と同じ手を、前述の人間であるお二人は次々と指すのである。人間の脳内では、数億局面も読めることはないにもかかわらず最善手にた

どり着いている（羽生九段は過去に「1000手読むにはかなり大変で30分かかる」とお話しされている。1000局面以上を脳内で検討されているというのがそもそも驚きである）。

人間の脳はニューロンの集合体であり、当然タンパク質から構成されている。ニューロンは細胞体と軸索と樹状突起からなり、それらが互いに接続されて神経細胞を作っている。大脳では1mmに10万個ものニューロンが存在し、この「有機物製」のニューロンのネットワークに電気信号が伝達され、高度な処理が生物では可能になっている。この10万個のニューラルネットワークは学習には時間がかかるがAIより圧倒

的に低電力で学習できる。まだまだ様々な潜在能力を感じる。

人工知能 AIが発達すると、ややもすると人間自身で考えなくなることが懸念される。しかし、王将戦の素晴らしい戦いを拝見すると、AIの思考結果を人間が懸命に考えて紐解くことで、現象へのさらに理解が深まり学習がなされて、さらなる人間（自分自身も含めて）の進化が遂げられるのではないかと夢想している。

注) 藤井聡太竜王は、3月19日 第48期棋王戦五番勝負の第4局を制して、六冠となっております。

## 2022年度 エネルギー管理功績者・優良事業者等決まる

2022年度のエネルギー管理功績者およびエネルギー管理優良事業者等が決定し、中部経済産業局長表彰をはじめとする各表彰が省エネルギー月間（2023年2月）に行われました。

### ■表彰式日程■

表彰区分	月日	会場
中部経済産業局長表彰 富山県知事表彰 石川県知事表彰 日本電気協会北陸支部会長表彰 (富山・石川・福井)	2月9日(木)	富山電気ビルディング(富山市)



記念撮影

## エネルギー管理功績者

【一般社団法人 日本電気協会 北陸支部会長表彰】



大 路 貴 久 氏

勤務先 国立大学法人 富山大学（富山県）



武 内 加 寿 也 氏

勤務先 清川メッキ工業株式会社（福井県）



畑 山 宏 二 氏

勤務先 能任絹株式会社（石川県）

## エネルギー管理優良事業者等

【中部経済産業局長表彰】

### 大平洋ランダム株式会社

代表者 代表取締役社長 薄田 新一郎  
所在地 富山県富山市



- 照明の LED 化による使用電力量およびメンテナンス費用の削減
- 炭化けい素 遠心分級機用ブロワのインバータ化による使用電力量の削減（0.6~0.8 $\mu$ m 細粉を製造）

## 【富山県知事表彰】

## 北陸電気工業株式会社

代表者 代表取締役社長 多田 守男  
所在地 富山県富山市



- 新工場棟 3 階の生産設備の 1 階への集約および各階の変圧器統合による使用電力量の削減
- 技術棟 3 階にある開発用クリーンルームの除湿制御装置の最適化設定による使用電力量の削減

## 【石川県知事表彰】

## カジレーネ株式会社

代表者 代表取締役社長 梶 政隆  
所在地 石川県かほく市



- 照明の LED 化による使用電力量およびメンテナンス費用の削減
- 生産機器の基布乾燥方式を 2 ブロワから 1 ブロワ方式への変更による使用電力量の削減（ブロワ 1 台運転停止、撤去）

## 【一般社団法人 日本電気協会北陸支部会長表彰】

## ハウメット・ジャパン株式会社

代表者 代表取締役社長 ダヴィッド・ランベール  
所在地 石川県能美市



- 空気圧縮機のインバーター化、台数集約（大容量化）と圧力設定の低減による使用電力量の削減
- 高効率冷却設備へ更新（空冷チラー）による使用電力量の削減



研究紹介

# カーボンニュートラルの実現に資する IMCフリー異種金属接合法－低温鍛接法（CFW）

富山県産業技術研究開発センター ものづくり研究開発センター  
機能素材加工課 山岸 英樹

## 1. はじめに

冶金的な直接接合形態の異種金属接合は、脆弱な金属間化合物（IMC）が容易に生成することから一般に困難である。一方、電気自動車シフトに伴い、車体や電極など様々な部材・部品でマルチマテリアル化ニーズが急速に高まっている。本稿では、従来の材料制限を打ち破るIMCフリーの高速・高強度異材接合法として、特許技術の低温鍛接法（CFW）を紹介する。

## 2. 高速・高強度異材接合を実現する低温鍛接法（CFW）

同種材の溶接法として一般に適用されている熔融溶接法では、多くの組合せの異種金属において、脆弱な金属間化合物（IMC）が高温のため容易に生成し、実用的な接合強度を得ることが困難である。例えば鉄鋼とアルミニウム合金の組合せの場合、これらの反応層厚がわずか1μm程度であっても、接合強度が著しく低下することが知られている。このため筆者は、加圧により大変形を付与することで自然酸化被膜など汚染層を接合界面から除去あるいは極めて薄くすると同時に、低温で両材を短時間拡散させこの反応層の厚みを脆化の目安とされる1μmよりも十分薄いメゾスコピック領域（数nm～100nm程度）に抑え込むことにより、接合部の強度低下問題を根本的に解決する「低温鍛接法（Cold Forge Welding：CFW）」を新たに開発した<sup>1,2)</sup>（図1）。

本CFW法は、フラックスやインサート材を用いずに直接金属を低温（融点で規格化した $T/T_m$ は0.3～0.7程度）かつ短時間で拡散接合するもので、異種金属においては反応層を無害化できる実質“IMCフリー”の接合方法である<sup>3)</sup>。一瞬で成形と同時に接合を実現でき、非常に生産性が高いマルチマテリアル技術となる<sup>4,5)</sup>。また、健全性を接合前後の肉厚の比率である圧下比で管理できることもこれまでのプロセスにない大きな特徴である<sup>6,7)</sup>。従って、従来の生産技術における材料制限や生産性を打ち破る次世代の高速・高強度異

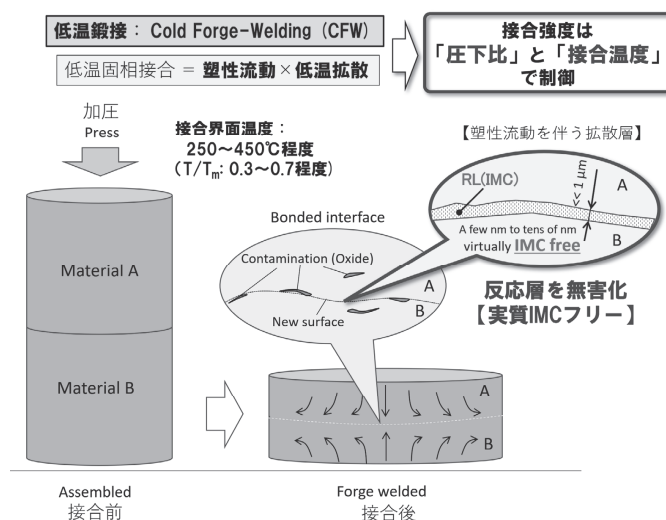


図1 CFW加工原理イメージ

材接合法として幅広い製品への活用が期待できる。例えば、輸送機器車体や鍛造・板金部品等の軽量化・高機能化技術としてだけでなく、各種電極（端子、バスバー、ターミナル）やハーネスなどの電気機能部品にも対応したハイスループットの接合・成形技術として利用できる<sup>2,8,9)</sup>。またスパッタ等のない清浄度の高い接合技術として利用できるため、ヒートシンクなどの機能構造や小さな電子部品などの封止技術としての活用も期待できる<sup>10)</sup>。車体など空間加工が必要なものはスポット鍛接装置<sup>1,2,11)</sup>を、また機能部品であれば汎用プレス機等による量産加工が可能である。シンプルでありながら、マルチマテリアル化において材料制限を打ち破る次世代の高速低温固相接合プロセスである。現在、本法は上位特許<sup>1)</sup>が日本国内で登録となり、さらに周辺特許についてもその整備をグローバルに進めているところである<sup>2,9-16)</sup>（図2）。

本稿では、本法の接合原理の優れた特徴を示すため、接合性を支配する基本的な加工パラメータについて、具体的な実験データを基に紹介する。

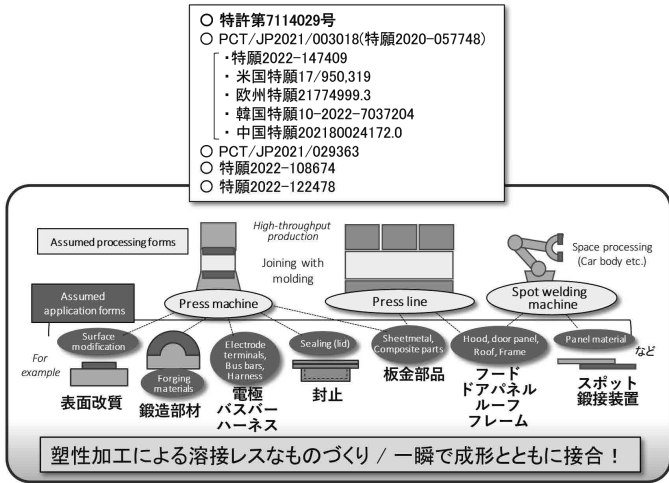


図2 CFW利用形態イメージ (塑性加工による「溶接レス」なものづくり)

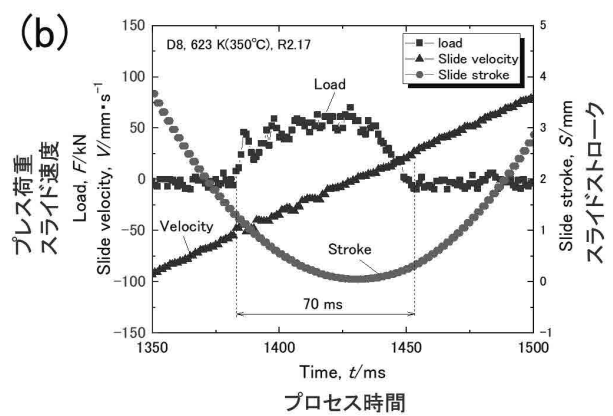
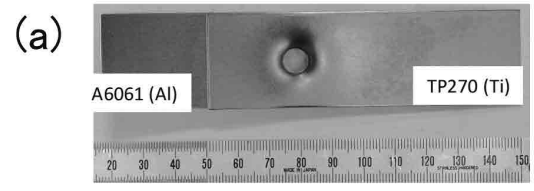


図3 (a) Ti/Al-CSFW 継手外観, (b) プレス加工波形例

### 3. 接合強度に及ぼす接合温度及び圧下比の影響

純チタンとアルミニウム合金の低温スポット鍛接 (CSFW) 継手について、継手強度に及ぼす加工条件の影響を接合界面の状態とともに調べた<sup>17)</sup>。

図3(a)および(b)は、それぞれ、継手外観写真及びそのプレス加工波形である。板厚1mm同士の重ね異材接合であり、接合温度は350℃、鍛接径は8mm (D8)、圧下比は2.17での接合例である。このように本法は加圧時間0.1秒を切る高速接合を実現する。

図4(a)は、継手の引張せん断荷重と接合温度及び圧下比の関係を示す。ここで、色塗りマーカーは母材破断を、また白抜きマーカーは接合界面破断を表す。D8において、各接合温度間のデータを比較すると、接合温度が高いほど、より低い圧下比でも母材破断となっていることが分かる。言い換えれば、高い圧下比を導入することで、より低温でも健全な接合が実現できる。例えば、圧下比3以上とすることで、接合温度がわずか270℃であっても母材破断となる。図4(b)は本実験における破壊形態領域図を示す。このように、接合温度と圧下比による接合制御性が本法の大きな特徴である。

本法において、接合界面における物理現象は拡散であり、IMC抑制のためには、「いかに低温で拡散反応できるか」ということがポイントとなる。しかしながら、材料表面には汚染層が存在し、拡散接合を行おうとした場合、これが反応の障害層となる。従って、減圧もしくは不活性ガス雰囲気中で行う従来の拡散接合は通常、接合面を研磨、洗浄した上で行うが、この場合も材料の表面には自然酸化被膜が研磨後瞬時に生じているため、有効な拡散反応のためには高温が必要となる。本法は、接合面の研磨など前処理を行わずとも、加圧による塑性変形で接合面を塑性流動させることで、表面の酸化被膜や汚れなどの汚染層を分断あるいは非常に薄く延ばさ

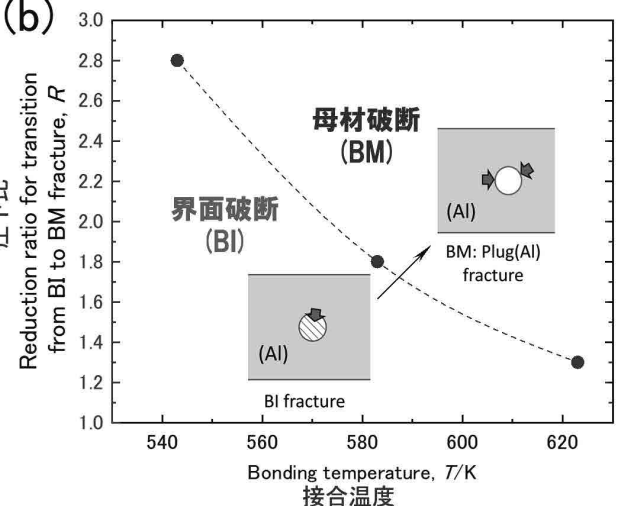
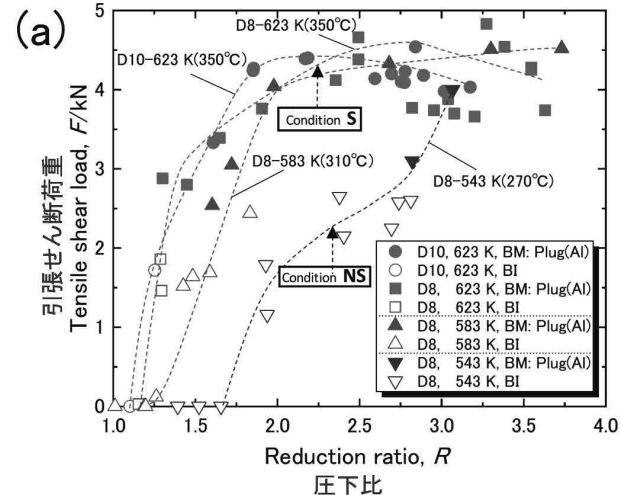


図4 (a) 接合強度に及ぼす接合温度及び圧下比の影響, (b) 破壊形態領域図

せて、拡散の障害層の影響を無くし、低温であっても効率的に（瞬時に）拡散を行えるようにしたものである。接合温度は従来の固相接合の温度よりはるかに低い250～450℃程度である。

なお、大きな塑性流動の導入によって汚染層が非常に薄く引き延ばされることでその表面積が増え、酸素など汚染元素の接合界面からマトリクスへの拡散、固溶も効率的に生じ、より接合界面の清浄度が向上する効果も併せて生じる。この拡散の障害層となる汚染層をどのように除去（低減）できたか、接合の健全性の程度を示す指標が接合前後の部材肉厚の比率「圧下比」であり、この指標で数値制御、管理できることが本法の大きな特徴である。すなわち接合温度管理がなされていれば、接合部の圧下比を測るだけで、つまり肉厚測定をすることで、その接合が健全であるかどうかを判断できる。

図5は界面のTEM分析結果である。界面破断条件では反応層の厚みが最大でも数nm程度であるが、母材破断条件では反応層（TiAl<sub>3</sub>）が数十nm程度であることが分かる。本法では接合界面が塑性流動で形成されることから、局所的に見ても場所によるばらつきがある程度生じる。つまり、界面破断条件では、場所によっては十分な接合強度が得られないほど薄くなっていることが考えられる。従って、本継手においては反応層の厚みはメゾスコピック領域が適切であると分かる。なお本母材破断条件については、疲労試験においても静的試験同様に母材破断し、実用継手として問題が無いことを確認している。

#### 4. おわりに

極めて生産性が高い異材接合法「低温鍛接（CFW）」を紹介した。接合面への大きい塑性流動の導入により良質な新生面を形成するとともに低温かつ短時間拡散によって高強度なIMCフリー接合界面を実現する本法は、従来の材料制限、加工形態及び生産性を打ち破る次世代の異材接合法として幅広い製品への活用が期待できる。ものづくりの新たな基盤技術として本特許技術の実施展開を進めている。

#### 5. 参考文献

- 1) 特許第7114029号
- 2) PCT/JP2021/003018
- 3) H. Yamagishi: *Mater. Trans.*, 62 (2021) 1576-1582.
- 4) H. Yamagishi et al.: *Metall. Mater. Trans. A*, 49A (2018) 4659-4668.
- 5) H. Yamagishi et al.: *Metall. Mater. Trans. A*, 51A (2020) 2154-2162.
- 6) H. Yamagishi: *Mater. Lett.*, 278 (2020) 128412.
- 7) H. Yamagishi: *Metall. Mater. Trans. A*, 52A (2021) 741-752.
- 8) H. Yamagishi: *Mater. Lett.*, 299 (2021) 130080.
- 9) 特願 2022-122478
- 10) PCT/JP2021/029363
- 11) 特願 2022-108674
- 12) 特願 2022-147409
- 13) 米国特願 17/950,319
- 14) 欧州特願 21774999.3
- 15) 韓国特願 10-2022-7037204
- 16) 中国特願 202180024172.0
- 17) H. Yamagishi: *Metall. Mater. Trans. A*, 53A (2022) 264-276.

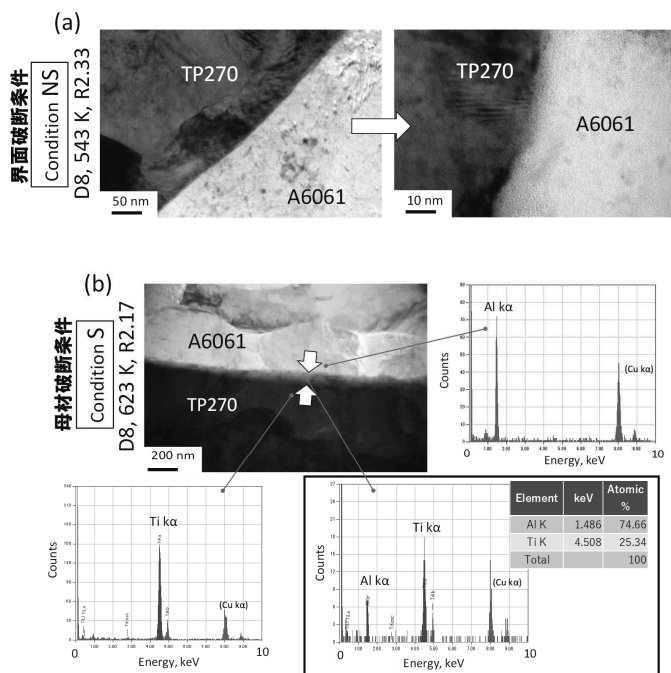


図5 Ti/Al 接合界面のTEM観察：  
(a) 界面破断条件, (b) 母材破断条件



## 2023年4月1日 改正省エネ法が施行されます (出典：資源エネルギー庁)

### 改正省エネ法の概要

- 2050年カーボンニュートラルに向けて、①更なる省エネの深掘り、②需要サイドでの非化石エネルギーへの転換、③太陽光等変動再エネの増加などの供給構造の変化を踏まえた需要の最適化が重要であることを踏まえ、2022年5月に省エネ法を改正し、以下の措置を講じている。

#### 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。
- ▶ 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】

- ▶ **再エネ出力抑制時への需要シフト（上げDR）や需給状況が厳しい時間帯の需要減少（下げDR）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に関する計画作成**を求める。
- ▶ 電気消費機器（トップランナー機器）への**電気需要最適化に係る性能の向上の努力義務**

### お知らせ

## 2023年度 エネルギー管理優良事業者等・功績者を募集(予定)

北陸電気使用合理化委員会では、エネルギー使用合理化の成果が特に顕著な事業者等や個人の表彰を行っており、2023年度の実績者を次のとおり募集する予定です。

#### 【候補の対象】

- エネルギー管理優良事業者等
  - ・ 電気使用の高度化ならびに合理化等を図り、エネルギー使用合理化の成果が特に顕著な事業者および工場・事業場
- エネルギー管理功績者（個人）
  - ・ 電気使用の高度化ならびに合理化等の研究もしくは実施を積極的に推進し、またその普及指導に努めた方で、エネルギー使用合理化の功績が特に顕著な方

#### 【表彰の種類】

- 中部経済産業局長表彰
- 各県（富山、石川、福井）知事表彰
- 一般社団法人 日本電気協会北陸支部会長表彰

#### 【公募期間】

- 2023年9月末まで

#### 【必要書類】

- 優良事業者等表彰／表彰申込書
- 功績者表彰／表彰候補推薦書および推薦調書

#### 【応募先】

北陸電気使用合理化委員会 (北陸電力(株) 営業本部 エネルギー営業部内)	TEL：076-441-2511
富山県電気使用合理化委員会 (北陸電力(株) 富山支店 営業部営業担当内)	TEL：076-441-3511
石川県電気使用合理化委員会 (北陸電力(株) 石川支店 営業部営業担当内)	TEL：076-233-8881
福井県電気使用合理化委員会 (北陸電力(株) 福井支店 営業部営業担当内)	TEL：0776-29-6982

(応募様式等については、各県電気使用合理化委員会にお問い合わせください)