

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：82653

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630118

研究課題名(和文) 風力熱蓄積発電のシステム設計と究極のエネルギー密度を持つ発電発熱機開発

研究課題名(英文) Feasibility study of wind-powered thermal energy system and study of electric-heat generator

研究代表者

岡崎 徹 (OKAZAKI, Toru)

公益財団法人国際超電導産業技術研究センター(超電導工学研究所)・その他部局等・その他

研究者番号：20572978

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：システム検討を行い、風力熱発電の経済性検討の精度を高めた。各界の有識者に評価して頂き、独自のシステムで無く各種条件を考慮してのシステムである旨を確認した。実際の風況も導入して運用した場合のコスト計算も行い、蓄熱による運転に効果があることが判明した。風力熱に関する国際会議も実施した。発電発熱機は実験設備を組み立て、運転動作が理論と一致することを確認した。さらに系統からの電力を吸収・蓄積する動作が出来ることを発見した。だれもこの様な使い方を提唱したものは居ない。これをもってさらに風力熱発電の発電発熱機が究極の利用効率で運転出来ることがわかり、さらなる再エネコストの低減が期待できる様になった。

研究成果の概要(英文)：Intensive cost study on wind-powered thermal energy system is conducted and confirmed by many authorities in various field. The cost estimation using real wind condition is also conducted and cost effectiveness of thermal energy storage is confirmed. Advantage of light heat generator is also confirmed.

The experiment of electric-heat generator is successfully conducted. The theory and the experimental results are well agreed. Another use of the electric-heat generator is found through this experiment. The electric-heat generator can absorb the surplus energy in the power network. This enables the capacity factor of the system large and make the energy cost less than previous estimation.

研究分野：再生可能エネルギー

キーワード：風力 不安定性解消 蓄熱 回転機軽量化

1. 研究開始当初の背景

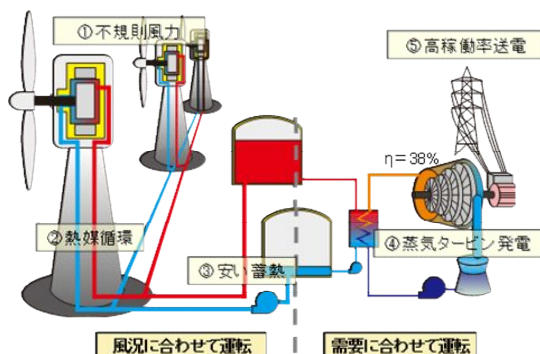
2014年の突然の太陽光買い取り停止に見るように、日本の電力システムに再生可能エネルギー（再エネ）の導入は諸外国のようにうまくいっておらず、革新的な技術が必要とされていた。太陽光、風力はともに需要と全く関係なく発電するため電力システムの**同時同量性に欠けていた**からである。

ただし、電力システムは必ず冗長性を持った発電所群によって構成されており、一つの発電所が何らかの事由で脱落しても停電すること無く電力を供給できる体制を取っている。この特性を生かし、広域での既存型発電所の柔軟な運用によって風力発電自体が不安定な発電であっても他の発電所の出力調整機能により不安定性を補正し電力システムの安定性を維持する、という手段が執られてきた。この方法で欧州では20%程度の風力導入量までは問題なく運用できるとされてきた。しかし日本では欧州と電力システムの形状が根本的に異なるため冒頭のように欧州と比べ小さな導入量にも関わらず接続停止された。

日本でもシステム強化により欧州並みの導入量を問題なく実現できるのは理論的には明らかであろう。しかしながら、欧州も含め、このシステム強化による手法では**従来型発電所を一切削減できず**、燃料消費量を減らすだけである。再エネ社会に向けての途中段階としては十分効果的であるが、**最終目的にはならない**。また、従来発電設備を維持しつつ再エネを導入するということは、従来発電設備の低稼働率化を意味し、設備償却も含めて社会への大きな経済的負担が生じる。

風力熱発電はこの問題を**根本的に解決**する物として提案された風力発電、太陽光発電、太陽熱発電に続く全く新しい分野の技術である。しかし全く新しい**革新的概念**をもつがために、技術として**世間に認知されておらず**、実物による実証も無かった。この概念を学术界・産業界に認識させ、早急に技術を確立することで再エネの大量導入への一助とする必要があった。

風力熱発電の構成は、下図のとおりである。風車タワー頂部で回転エネルギーが熱に変換される。ここでは発熱機、あるいは発電発熱機を用いるが、特に発熱機は単純な構造であるため非常に軽量化する。風車タワー頂部で熱を生成してからの後は太陽熱発電と同じシステムを用いて熱を下部のユーティリ



ティーに移送して蓄熱し、必要時に発電する。回転エネルギーは理論上100%電力エネルギーに変換できるのに対してカルノー効率に制限され40%としかならない熱機械を通す、というこの点だけを見ると全く非合理的であり、社会的にも学術的にも全く認知されていない技術であった。

この風力熱発電に用いられるエネルギー変換装置である回転機に誘導モータを適用すると究極にまでエネルギー変換密度が上げられる発電発熱機となることが理論的に推定されたが、その前例が一切なかった。そのため**理論上は可能であるが現実には運転可能かどうか実績を作る必要**があった。

2. 研究目的

(概要)

1. 不安定な風力エネルギーを経済的に安定発電できると提唱されている風力熱蓄積発電(*)のシステム設計およびシミュレーションを行い、総合的エネルギーコストを求める。
2. 要素部品である超低速・発電発熱機の実験を行い究極の高効率・高変換密度を確認する。

(*)風力熱蓄積発電ではタワー頂部で発電発熱機により電力と熱を振り分けて生成する。熱は熔融塩などで蓄熱し必要時に蒸気タービンで電力変換する。効率の悪い熱機械を利用するがシステムも含めた全設備コストが安く経済的な24時間安定発電が可能。しかし概念検討が端緒についたばかりで具体化していない。要素部品の発電発熱機だけ既存品が無く、その存在証明およびパラメータ取得も必要である。関連特許は本挑戦の補が研究開始前に4件権利化されて登録されており、JSTと共同で海外出願も行われている。

(詳細)

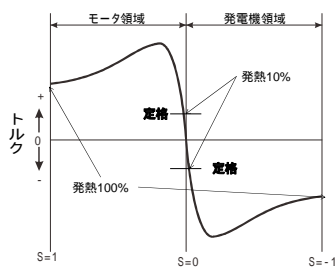
産業界、学术界など各界の識者と相談することにより下記の点が確認されている。

1. 堅牢なダイレクトドライブシステムが安価・軽量に実現できる
2. 熱媒循環システムは太陽熱発電で実績がある
3. 蓄熱システムも太陽熱発電で実績があり、コストは電池に比べて1/20~1/100である
4. 熱から電力への変換は電池の1/2程度(マイナス要因)
5. 送電線の稼働率を大きく上げられる。日本では風力導入への大きな障害である。
6. 30分一定出力条件がなくなるため風車の稼働率が上がる
7. ウィンドファームにて高密度風車配置が可能となる。乱流による出力の急変や構造体への負荷変動に強いためである。

一つのマイナス要因と多くのプラス要因を定量的に比較し、経済的な有効性があるかどうかを確認することが第一の目的である。

第二の目的は、風車タワー頂部に配置する回転機の高性能化である。ブレーキを転用した発熱機であれば、その検討は工学的という

よりは産業的な検討になる。しかしここに誘導機を採用すると、これまでだれも検討してこなかった全く新しい回転機の利用方法となる。具体的には誘導機はモータとしても発電機としても下図の定格点で運転することしか考えておらず、その途中は始動時などに一時通過するだけであった。これを風力熱発電のタワー頂部に配置すると、この特性曲線内の様々な位置で運転を継続することとなる。すると定格の数倍で運転が可能となり回転機の大幅な軽量化が実現できる。またモータ領域も使えるため、この場合風車の羽は回転させずに回転子にて発熱動作をさせる。通常の誘導モータであれば、これは焼損に至る条件であるが発電発熱機は適切な抜熱機構を持つためこの状態で継続運転が可能である。この熱は蓄熱して必要時に発電させる。これはすなわち電力系統の余剰電力を吸収する事も可能な事を示しており、風力のみならず太陽光のより大量の導入にも資する。



3. 研究の方法

研究連携者・協力者に風力・電力系統・プラント・建設など産学の異なる分野の専門家を迎えその専門知識を参考にしてシステム設計を行う。シミュレーションを実施しエネルギーコストを精度良く算出する。世界の最先端技術動向も調査し内容が実体と乖離していないかも確認する。国内外の研究者を集め研究会を開催しその結果を評価する。システム設計のパラメータ取得およびシミュレーションへの反映のために発熱発電機実験を行い特性計測する。写真のような実験設備を作り、誘導モータを断熱容器中に満たした水中で駆動することにより、その発熱を温度計で確認して発熱量を計測する。発電発熱機実験では次の事を確認する。



1. 回転力を電力と熱に無段階で変換できる事を確認する。
2. 発電発熱機が改造前の誘導モータよりも大きなエネルギーを変換できることを確認する。
3. 実際の風況データを模擬して発熱発電機を駆動する。風況と電力需要の両方を勘案し、状況に応じて電力と熱の出力割合を調整出来る事を確認する。

4. 研究成果

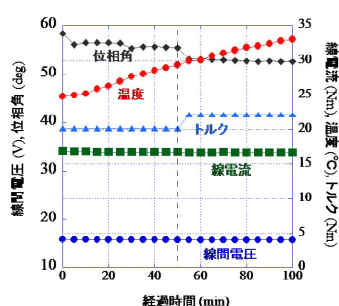
システム検討を行い、風力熱発電の経済性検討の精度を高めた。新しいシステムなので各界の有識者に評価して頂き、独善的なシステムで無く各種条件を考慮してのシステムである旨を確認した。この段階でオープンアクセス論文を投稿し、エルゼビア社 Renewable Energy 誌にて数ヶ月、**注目ダウンロード数 2 位**を維持し、現在 **8000 以上**のダウンロード数となった。

さらに実際の風況も導入して運用した場合のコスト計算も行い、風のような長周期で変化する際エネは蓄熱によって安定化して運転する事に効果があることが判明した。特筆すべき次項として、海外ともコンタクトし、**ドイツ航空宇宙センターDLR と共催**で国際ワークショップを二回、主催者として開催した。これはドイツの豊富な風力に関する知見でも風力熱発電の可能性が認められたと考えている。国際会議は 2015 年にはシュツットガルトにて行い、ここには日本側から 7 名が参加している。2016 年 3 月には東京にて 4 日間、のべ 150 名もの各界の有識者を集め、活発な議論を行った。結論としては風力熱発電システム開発を行い、具体的に再エネ導入の推進が可能となるかを確認すべき、となった。また自然界に生物多用性が必要とされているように、自然を利用する再エネにも多様性が必要である、との認識が生まれた。この会議は 2017 年にもドイツで開催予定である。

この会議を通じ、これまでわからなかったダイレクトドライブ風車の建設コストがギア付きと比べて 40%も高く、一方で故障しないためにエネルギーコストはギア付きより安くなる、という実態がわかった。風力熱発電はダイレクトドライブシステムを安価に構成できるので実際の建設時に有効である。さらに、これまではウィンドファームを目標とした巨大発電所を目指していたが、熱を直接利用する事も有効であるとわかってきた。具体的には砂漠湾岸地方での淡水化や熱需要などである。小型であれば吸収式冷凍機も応用でき、冷暖房に応用できる。直接電力を作らないために実際の運用では必要な時に必要な熱や電力を利用できる物の開発も考えられる。さらにバイオマスのガス化によって中規模での発電にも可能性が存在することがわかった。

発電発熱機は実験設備を組み立て、発熱運転を実施してその運転動作が理論と一致することを次図の様に確認した。当然のことながら、急激な運転条件の変化によっても温度として現れる変化はゆっくりとしている。急激に変化することもある風のエネルギーを無駄にせず全て回収するために有効な特性である。またこの課程において様々な利用方法があることが判明した。そのひとつに系統余剰電力の吸収動作が可能なる事である。これまでは自分自身が外部からの力で回転させられることにより発電/発熱し、結果として

安定発電するだけの機能しかないと思われていた。しかしこの発電発熱機の実験の組み立てや運転調整を経て、



電力として系統からの電力でも同様な動作が出来ることを見いだした。これは理論上当たり前の事であるが、今までだれも気づいておらず、この様な使い方を提唱したものは居ない。電力システムに導入されれば太陽光発電の余剰電力も吸収し、後ほど必要になった時点で発電することも可能となる。これをもってさらに風力熱発電の発電発熱機が究極の利用率で運転出来ることがわかり、さらなる再エネコストの低減が期待できる様になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)(査読付き)

1. Toru Okazaki, Yasuyuki Shirai, Taketsune Nakamura: "Concept study of wind power utilizing direct thermal energy conversion and thermal energy storage system, Renewable Energy, Elsevier, Vol. 83 pp.332-338
2. 岡崎徹、山田穰:「風力熱発電用超電導発熱機」低温工学 Vol. 51-5, 171-177
3. 岡崎徹、「風力熱発電と冷凍空調技術の適用先」 冷凍、掲載予定

〔学会発表〕(計 10 件)

1. 岡崎徹、中村武恒、ベースロード化を目指した風力熱発電の概念紹介 電気学会 B 部門大会(2014)
2. 岡崎徹、中村武恒 風力熱発電と発電発熱機(その1) 電気学会全国大会 2014
3. 中村武恒、岡崎徹 風力熱発電と発電発熱機(その2) 電気学会全国大会 2014
4. 岡崎徹、風力熱発電と国際共同開発、第16回風力エネルギー利用総合セミナー(足利工大、2015、招待)
5. 岡崎徹、蓄熱を生かす風力熱発電、再生可能エネルギー変換・利用技術の進歩(JST, 招待、国際会議)
6. 岡崎徹、中村武恒、風力熱発電とその応用および国際協力 電気学会 B 部門大会(2015)
7. 岡崎徹、Superconducting technology for Wind-powered Thermal Energy System to realize economical base load power, 超伝導・低温技術を利用した低炭素社会の構築(ALCA, 招待、国際会議)
8. 岡崎徹、Concept of wind-powered thermal systems、Japanese - German workshop on renewable energies (招待、国際会議 @2016)
9. 中村武恒、Idea and basic study of

electric and heat generator, Japanese - German workshop on renewable energies (招待、国際会議 @2016)

10. 岡崎徹、蓮池宏、渡邊健次、川村太郎、風力熱発電の長期準化経済性検討、電気学会全国大会 2015

〔図書〕(計 3 件)

1. 岡崎徹、定置型電力/エネルギー貯蔵システムの導入効果 S&T 出版
2. 岡崎徹、電気評論、電気評論社
3. 岡崎徹、マテリアルステージ、技術情報協会

〔産業財産権〕

出願状況(計 4 件)

名称: 誘導加熱装置、及び発電システム(同じ名称)

発明者: 岡崎徹

権利者: 住友電気工業(株)

種類: 特許

番号: 特願 2015-123352~4 (3 件連番)

出願年月日: 2015.6.18

国内外の別: 国内

名称: 誘導加熱装置、及び発電システム

発明者: 岡崎徹、松尾哲司

権利者: 住友電気工業(株)、京都大学

種類: 特許

番号: 特願 2015-200597

出願年月日: 2015.10.8

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.asl.kuee.kyoto-u.ac.jp/JGworkshop/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡崎 徹 (OKAZAKI Toru)

国際超電導産業技術研究センター 主管研究員(現・エネルギー総合工学研究所 主管研究員、住友電気工業(株)より出向)

研究者番号: 20572978

(2) 研究分担者

中村 武恒 (NAKAMURA Taketsune)

京都大学 工学研究科 准教授

研究者番号: 30303861