

## 上空風と太陽熱を利用した新しい複合発電システム 「ウィンドソーラータワー」の研究

岡田, 臣右

<https://doi.org/10.15017/1785413>

---

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 岡田 臣右

論 文 名 : 上空風と太陽熱を利用した新しい複合発電システム  
「ウィンドソーラータワー」の研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

風力と太陽エネルギーの有効利用は二酸化炭素排出量削減に貢献し、エネルギー自給率を向上させるエネルギー源として期待されている。枯渇性の化石燃料（石炭、石油、天然ガス）で二酸化炭素を排出する火力発電や放射性廃棄物処理問題の解決に至らない原子力発電を一部代替するエネルギー源として最大限導入することが望まれている。

従来研究のうち、太陽熱により上昇気流を創り風力発電するシステムについては、「温かい空気は上昇する」という自然現象を大規模に利用したソーラーチムニ（またはソーラータワー）がある。このシステムは、透光性の集熱部により地表面と集熱部との間にある空気を太陽熱により加熱して、集熱部の中心に設置している円筒状の塔内部に上昇気流を創り、この上昇気流により塔下部に設置している風力タービンを回転して風力発電する。1987年にスペインのマンザナレス地方にてプロトタイプを建設し、32ヶ月間の試運転を行い、その原理を実証した。公開されている試運転結果を分析すると、設計値では100kWの出力を見込んでいたにも係わらず、最大50kWしか発電できなかった。これは設計値において上空の外気と上昇気流の温度差が35Kまであがることを見込み、ひいては上昇気流の流速が16m/sになることを見込んでいたからである。実際には、上空の外気と上昇気流の温度差が最大17Kまでしかあがらず、上昇気流の流速も最大12m/sであった。したがって、日射に係わらず上昇気流の流速を上げる仕組みを導入することができれば、日射を得ている時間帯においても、高出力化が図れ、ひいては年間の発電量を増やすことが期待できる。従来のソーラーチムニでも、昼間の日射を得ることができる時間帯は恒常的に発電し、日射を得ることができない夜間帯は低稼働率となり、年間の稼働率は低水準になっている。したがって、日射に係わらず夜間に恒常的に上空風が存在していれば、上空風により上昇気流を集める仕組みを導入することで、夜間の低稼働率を改善することができ、年間の発電量を増やすことが期待できる。

これらの課題を解決するために着目したのが、「空気は低圧領域に流れ込む」という自然現象を追求したつば付きディフューザ風車の発想である。つば付きディフューザ風車は従来の風車に比べて発電量が2～3倍向上することを実証した。このコンセプトは2点の工夫が盛り込まれている。1点目は、ディフューザ形状の筒を流れ方向に設置することにより、スロートとなる入口部が低圧領域になることでディフューザ形状の塔に多くの風が流れ込む。2点目は、ディフューザ形状の筒の出口に大きな鏝をつけて外部流を遮ることにより大きな渦を形成し、ディフューザの出口付近をより低圧にすることで、ディフューザ入口近傍をより低圧にして、より多くの風が流れ込む。最終的にディフューザ形状の筒の入口部に風車を設置することで、発電量を向上した。

本研究では、つば付きディフューザ風車で採用した2点の工夫をソーラーチムニの形状に適用し、上空風および太陽熱を利用して誘起する上昇気流の増速率を実験および数値計算により決定して、

複合発電するウィンドソーラータワーとしての発電量、稼働率、設備利用率について議論する。

第2章では、ウィンドソーラータワーのエネルギー源の一つである太陽熱を利用する場合に、塔内部形状を円筒から開き角 $4^{\circ}$ のディフューザに変更することで日射により創りだす上昇気流を増速する仕組みを研究対象として、その室内実験および数値計算の結果について議論した。結論として、塔内部形状がディフューザである場合には、スロートに低圧領域を形成するため、集熱部にある空気が塔内部に流れ込みやすくなり、円筒に比べるとディフューザのスロートでは1.4倍に増速した上昇気流を得ることができる。

第3章では、ウィンドソーラータワーのエネルギー源の一つである上空風を利用する場合に、塔内部に上昇気流を集める仕組みを研究対象とし、その風洞実験および数値計算の結果について議論した。結論として、塔出口部の上流側に渦形成板を設置し、塔内部形状を円筒からディフューザに変更し、塔下部を流れる空気を塔内部に導くガイドシャッターを取り付けることにより、基本形状としたソーラーチムニ型に比べて、上空風利用型では上空風の1.9倍に増速した上昇気流を誘起することができた。これは、渦形成板の後流に大きな渦を形成することにより塔出口部には低圧領域が形成され、さらには塔内部形状をディフューザにすることでスロートにさらなる低圧領域を形成するため、塔下部に設置するガイドシャッターによって咳止める空気が塔内部に流れ込みやすくなり、上空風より増速した上昇気流を塔内部に誘起するためである。

第4章では、ウィンドソーラータワーの独立したエネルギー源である上空風および太陽熱により誘起する上昇気流を用いて風力発電したときに得る発電量、稼働率、設備利用率をソーラーチムニ・プロトタイプ（塔高さ200m、塔内径10m、集熱部面積 $45000\text{m}^2$ ）と比較し、さらには一般の大型風力発電システムが目安としている設備利用率、20%（陸上）、30%（洋上）を基準に評価した。ソーラーチムニ・プロトタイプでは発電量、稼働率、設備利用率は44MWh、0.36、16.8%であり、設備利用率は一般の大型風力発電システムの目安を下回るため、高出力化・高稼働率化により発電量の増加が必須である。これに対して、第2章と第3章で得た上昇気流を増速する仕組みを適用したウィンドソーラータワーでは、上空風が夜間に年間平均9時間/日、年間平均 $6\text{m/s}$ 発生すると仮定し、上空風により誘起する上昇気流は太陽熱による上昇気流とは独立した時間帯に発生することを仮定すると、発電量は3.6倍の160MWh、稼働率は1.9倍の0.69、設備利用率は3.6倍の58%を見込める。この設備利用率は一般の大型風力発電システムの目安を大きく上回る。さらには、風力タービンの出力はロータ径の2乗に比例するため、ロータ径を10mから60mの大型化を図ると、発電量は36倍の5752MWhを見込める（ソーラーチムニ・プロトタイプの130倍）。

第5章では、本研究で得た結論を総括し、ウィンドソーラータワーが目指すべき方向性を述べた。つまり、上空風および太陽熱という独立した再生可能エネルギーを上昇気流という共通の作動流体として風力発電用途に供することで、従来のソーラーチムニおよび一般の水平軸風車よりも高出力化・高稼働率化が見込める複合発電システムであることを示した。しかしながら、発電量の規模は火力（石炭、天然ガス、石油）および原子力の発電施設と同等の発電量には至らないうえ、水力および地熱の再生可能エネルギーに匹敵する電源でもない。ただし、再生可能エネルギーを最大限導入する動向であるため、太陽および風力による発電の新たな複合発電システムとして提案していくべきシステムであるとともに、世界規模の二酸化炭素排出量削減のために立地条件と電力需要の適した地域へ提案していくべき“3E+S”に優れたシステムである。