

論文の内容の要旨

論文題目 太陽光発電が大量導入された電力系統における
電力貯蔵設備を考慮した最適電源運用計画に関する研究

氏 名 相原 良太

近年の地球温暖化問題への意識の高まりから、風力発電(WF)や太陽光発電(Photovoltaics: PV)などの再生可能エネルギー電源が電力系統へ導入される機運が高まっている。再生可能エネルギー電源のうちWFやPVについては、天候によってその出力が大きく変動するため、対策なしに既存の電力系統へ大量導入する事は困難であり、その対策が多面で議論されている。特に国土が狭い我が国においては地理的条件からWFよりもPVの導入が進められており、その日中しか発電できないという基本的特性からPVの大量導入が電力需給運用に与える影響は大きいと言われている。PVが大量導入された電力系統においては、昼間の晴天時においては経済性を考慮し、既存の火力発電機の発電電力量をPV発電電力量にて代替する事を検討すべきであるが、PVの出力は天候に依存して変動するので、その不確実性への対応が喫緊の課題となっている。PVの出力を全量見越して発電計画に算入した場合においては、PVの出力が予想よりも下回った場合、供給力不足による停電の可能性が高くなる。供給力不足は電力系統の運用上最も避けるべき事象の一つであり、PVの出力を全量見越して発電計画に算入するのは困難であろう。すなわちPVの出力を発電計画に織り込むのであれば、それに対し適正な予備力を確保する必要があるが、PVの導入量に対してどれだけの予備力を確保するのが適正であるかは、現時点で明確な結論は出していない。また春期や年末年始等の電力需要が小さくなる軽負荷期においては、PV発電量と他の固定出力電源や電力系統に並列している火力発電所などの最低出力の和が、電力需要を上回ってしまう現象が起こることが懸念されている。この現象は余剰電力と呼ばれており、PV大量導入時における需給運用の大きな課題となっている。その他にもPVは主に需要家の屋根への設置が見込まれており、配電線の電圧が法で定められた規定値を逸脱する電圧逸脱問題や、電力系統の事故時において、PVが単独で運転を継続してしまう単独運転問題、また電力系統の擾乱時においてPVが容易に一斉解列を起こし系統の擾乱を助長してしまう一斉脱落問題など、様々な問題が懸念されている。これらの問題の根本的な対策として電力系統側からPVの出力を制御するための通信線の整備が検討されているが、PVを設置している全需要家に対して通信線を整備するとなると莫大なコストがかかる。また需要家のPVを電力系統側から出力抑制をかけることは、需要家の便益を損なうことにもなり、その制度設計には慎重を期さねばな

らない。そのため本論文においてはPVの出力抑制をせずに、電力系統側での対策を提案・検討する。

PVの出力変動に対する有効な対策として電力貯蔵装置を用いる事が考えられる。電力貯蔵装置としてまず考えられるのが蓄電池であり、その設置に関する研究が近年盛んになってきている。しかし、既存の蓄電池容量は現時点では系統全体の設備容量に対して僅かであるため、蓄電池によってPVの出力変動や余剰電力を全て吸収するためには、蓄電池を系統に大量に設置する必要があり、莫大なコストが必要である。しかしPVの大量導入に対応するためには蓄電池の新規導入は避けられない事が予測され、実際に電力系統に導入される蓄電池の量も徐々にではあるが増加している。ただし蓄電池は非常に高価であることからその導入量は極力最小化されるべきであり、また導入された蓄電池の運用は、最大限に効果を発揮するように最適な運用がなされるべきである。更に電力系統には、既存の電力貯蔵設備として揚水発電所がある。揚水発電所は電力系統に古くからある形態の発電所であり、上池と下池の間で水をやり取りし揚水運転および発電運転を行う。すなわち電気エネルギーを位置エネルギーとして貯蔵していると言える。揚水発電所の設置目的は、夏期等の電力需要が大きい時期において、昼間に発電運転を行い夜間に揚水運転を行う負荷平準化や、火力発電所等と比較して高速な起動特性を活かし、系統全体の運転予備力としての役割を有している。揚水発電所の発電出力は一般的な水力発電所よりも大きく、系統全体から見て電力貯蔵装置としての役割は大きいと言える。しかしながらPV大量導入時における揚水発電所の運用計画に対する研究は未だ少ない。揚水発電所運用計画の決定は一般的にコスト最小化を目的関数とした最適化問題と捉えられる事が多く、そこに運転予備力などの種々の制約条件を付加したものが多い。PVが大量に導入された電力系統においては、PV出力に対する最適な予備力を考慮した運用計画の作成手法の確立が必要であろう。更に電力系統に蓄電池が導入された場合においては、その運用計画の最適化および揚水発電所と蓄電池の運用の双方を考慮した最適運用計画の作成手法の確立が必要である。本論文ではこれらの電力貯蔵装置を考慮した新しい運用計画作成手法および、その評価のためのシミュレーション手法について提案を行う。まず電力系統に既存の電力貯蔵設備である揚水発電所の最適運用計画作成手法を提案した。最適化の目的関数としてはコスト最小化の単一目的関数とし、シミュレーション条件毎にコスト最小の揚水発電所運用計画を作成した。その結果、夏期のPV導入がない条件においては、揚水発電所の運用計画は現状と同じ様に経済性を考慮し、昼間に発電運転を行い深夜に揚水運転を行う結果となった。一方、PVが大量に導入された場合には、PVが発電を行う昼間においてPV出力を差し引いた電力需要が小さくなるためこの時間帯で揚水運転を行い、PV出力が低下し、差し引きの電力需要が日間で最大となる夜間において発電運転を行う運用結果となり、現状の運用から大きく異なる結果となった。これらの運用計画に対して、PV大量導入時における供給信頼度ならびに週間燃料費を解析するために、週間需給シミュレーションモデルにおいて検証を行った。それに伴い、

週間運用計画作成における効率的な計算手法として、データベースを用いた火力機の経済負荷配分の算出手法、ならびにタブーサーチにおける効率的な初期解の選択手法を提案し、計算負荷の大幅な削減を図った。これらの手法によって、週間需給シミュレーションにおける計算時間を大幅に短縮できた。週間需給シミュレーションにおいては、PV出力変動・電力需要変動・発電機故障の三種類の不確実性を考慮したシミュレーションを行うことによって、揚水発電所を含む電力系統の週間運用計画に対する供給信頼度と週間燃料費、余剰電力発生率の三種類の評価指標を算出した。週間需給シミュレーションの結果として、PV大量導入時においては、夏期と春期ともに供給支障が多発するシミュレーション結果となった。

次に週間運用計画の作成手法において運転予備力の制約条件を考慮し、週間需給シミュレーションを行った。電力需要に対する予備率とPV出力に対する予備率の双方を考慮し、運用計画の作成を行った。その結果、PVが導入されていないシミュレーション条件においては、電力需要に対する予備率を時間断面毎に一定量確保することによって、電力系統の供給信頼度の向上が図れた。またPV大量導入時においては、電力需要に対する予備率とPV出力に対する予備率の双方を確保することによって、特に夏期においては効果的に供給不足の発生確率を低下させることができた。しかしながら春期においては、元々の電力需要が小さいために、火力機の下げ代の制約によって十分な予備力が確保できずに、電力需給運用にとって最も厳しい季節であることが判明した。この結果を踏まえ、時間断面毎に最適な予備力を確保することを考え、時間断面毎の予備率を探索的に求める手法について提案・検討を行った。週間需給シミュレーションにおける電力需要に対する予備率を制御変数とし、タブーサーチによって探索を行い、その評価値をパレート最適解の概念によって評価する手法を用いた。タブーサーチにおける解の評価には、それぞれの解に対して週間需給シミュレーションを行い、LOLPと燃料費を算出した。計算負荷としては非常に大きなものであるが、本手法によってPV大量導入時における、揚水発電所を含めた既存の発電設備による運用対策の限界を求める事が出来た。週間を通じて軽負荷となる土曜日や日曜日の週末において予備力の確保量を抑制することで、固定予備率のシミュレーションに対して、余剰電力の発生率を削減した上でLOLPの値は維持できる結果となった。しかしながら、特に春期においてはPVを導入しない条件と同程度にまで供給信頼度を確保することは出来ず、揚水発電所のみによる運用対策の限界であるといえる。

以上の結果を踏まえ、揚水発電所と蓄電池の協調運用手法について、その双方の出力を制御変数とした最適週間運用計画作成手法を提案し、検討を行った。夏期においては、電力需要が大きいため蓄電池と揚水発電所の双方ともに経済性を考慮した運用計画が作成された。一方、需要の小さい春期においては蓄電池の運用による経済性向上は殆ど見込めないため、運用計画作成結果は、週間を通じてほとんど運用を行わない結果となった。更に、蓄電池の導入を考慮した週間需給シミュレーション手法の提案を行い、検

証した。その結果、夏期においては蓄電池を導入することによって、同条件の蓄電池を導入しないシミュレーション条件と比較して、供給不足の発生率と余剰電力の発生率の双方を抑制することが出来た。更に蓄電池による経済性向上の効果として、週間燃料費を削減することも出来た。春期においても蓄電池の導入によって、供給不足と余剰電力の発生率を抑制することが出来たが、一方で週間燃料費の方は若干ながら増加する結果となった。前述のとおり春期においては、蓄電池の運用によって経済性の向上は見込めないため、週間需給シミュレーション中における緊急運用によって、供給信頼度を向上させる代わりに燃料費が増大する結果となったといえる。

以上より、本論文において提案した手法が、PV大量導入時における電力系統の運用計画作成ならびに需給運用に大きく寄与できる成果を得られる事ができた。