

地震災害における火力発電所の被害と復旧の関係 —東日本大震災以降の災害に着目して—

The Relationship Between Damage and Restoration of Thermal Power Plants
in Earthquake Disaster: Focusing on Disasters After the Great East Japan Earthquake

○寅屋敷 哲也¹, 奥村 与志弘², 橋富 彰吾³,
中林 啓修⁴, 井上 寛康⁵, 河田 恵昭⁶

Tetsuya TORAYASHIKI¹, Yoshihiro OKUMURA², Shogo HASHITOMI³,
Hironobu NAKABAYASHI⁴, Hiroyasu INOUE⁵ and Yoshiaki KAWATA⁶

¹早稲田大学 データ科学センター

Center for Data Science, Waseda University

²関西大学 社会安全学部

Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai University

³名古屋大学 減災連携研究センター

Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University

⁴日本大学 危機管理学部

College of Risk Management, Nihon University

⁵兵庫県立大学大学院 情報科学研究科

Graduate School of Information Science, University of Hyogo

⁶公益財団法人ひょうご震災記念21世紀研究機構 人と防災未来センター

Disaster Reduction and Human Renovation Institution, Hyogo Earthquake Memorial 21st Century Research Institute

In the Great East Japan Earthquake, numerous thermal power plants sustained damage, becoming a major factor in power supply restriction. Similarly, significant damage to thermal power plants was observed in the Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, the 2021 and 2022 Fukushima Offshore Earthquakes, and the 2024 Noto Peninsula Earthquake, with restoration taking considerable time. This study aims to elucidate the relationship between damage to thermal power plants and the restoration period in these earthquake disasters. The findings reveal that in the case of strong earthquakes with a seismic intensity of around 6+, the restoration period can take several months or longer, suggesting the possibility of prolonged power supply restriction lasting several months or more in future large-scale earthquake disasters.

Keywords : earthquake disaster, thermal power plant, damage, restoration, the Great East Japan Earthquake

1. はじめに

(1) 背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災においては、東北および関東地方の太平洋沿岸に立地する火力発電所や原子力発電所が同時多発的に被害を受け、多くの発電機能が失われた。そのため、当時の東京電力管内では、電力の需要に対して供給力を満たせないことから、地震の発生後、およそ数週間程度計画停電が実施され、また、同年夏季には東北電力および東京電力管内において電力使用制限令が出された。その後の地震災害では、2018年9月の北海道胆振東部地震により、道内の発電能力の大半を占めていた苫東厚真火力発電所が停止し、道内全域ブラックアウトが発生した。発電機能の低下による需給の問題は、事例が少ないが、発生すると広域かつ重大な影響になり得るため、今後の大規模地震災害による影響抑制に資する対策が必要である。

(2) 先行研究

地震による発電所の被害に着目した先行研究として、湯山ら（2014）は、東日本大震災で被災および停止した

火力発電所のパラメータを基に、発電機能の停止期間予測式の推計を行った¹⁾。寅屋敷らは、東日本大震災における火力発電所の被害と復旧と需要の変化の関係から、南海トラフ地震における電力需給ギャップの推計を行い²⁾、それに伴う経済被害の軽減対策の評価³⁾や、地域間連系線の増強による対策効果の評価⁴⁾をしている。また、2022年の福島県沖地震における火力発電所の被害に焦点を当てた需給逼迫問題を検証している⁵⁾。以上より、個別の災害を対象として、発電所の被害を評価する研究はなされているが、過去の地震災害により被害を受けた発電所全てを対象とした研究はほとんどない。

(3) 目的

以上を踏まえて、本研究では、東日本大震災以降の地震災害に着目し、被災した火力発電所のデータを収集し、被害と復旧の関係を明らかにすることを目的とし、将来の大規模災害に向けた考察をする。東日本大震災以降の複数の地震災害を対象としても、火力発電所の被害のサンプルは統計的分析に耐えられるほど多くはない。しかしながら、火力発電所の被害と復旧の関係を統計的に十

分に処理できるほどデータが集まるまで待つてからでは、広域的かつ長期間の電力供給制約が発生するような将来の大規模災害に備えるためには遅い可能性がある。そこで、現状の段階で得られるデータから、抽出される示唆を基に、対策を検討していくための参考とすることを、本研究では意図している。

本研究において対象とする災害は、過去に火力発電所に大きな被害があった地震災害として、2011年東日本大震災、2018年北海道胆振東部地震、2021年福島県沖地震、2022年福島県沖地震、2024年能登半島地震の5つとする。

2. 研究の方法

(1) データ

対象とする災害における火力発電所の被害と復旧に関するデータベースを作成するために、必要なデータを文献・資料等から収集する。また、対象とする火力発電所は、地震発生当時運転しており、かつ震度5強程度以上の揺れによる影響を受けた発電所のみとする。

東日本大震災においては、土木学会⁶⁾及び火力原子力発電技術協会⁷⁾における報告書を参照した。北海道胆振東部地震においては、北海道電力株式会社の資料⁸⁾を参照した。2021年及び2022年の福島県沖地震は経済産業省の資料⁹⁾¹⁰⁾を参照した。2024年能登半島地震は、北陸電力株式会社の資料¹¹⁾を参照した。なお、2022年福島県沖地震と2024年能登半島地震における被災火力発電所を観測点とした最大加速度のデータは見つからなかったため、防災科学技術研究所のk-netにおける各発電所に最も近い観測点の最大加速度を利用した。ただし、七尾太田火力発電所の観測点は、気象庁の資料を参照している¹²⁾。

(2) データベースの概要

作成したデータベースを表1に示す。データベースにおける発電所概要の項目として、ID、電力会社、発電所名、系列、総出力、燃料種類、営業運転開始年を含める。IDの1桁目が1は東日本大震災、2は北海道胆振東部地震、3は2021年福島県沖地震、4は2022年福島県沖地震、5は能登半島地震に対応している。地震等の外力の概要の項目としては、最大加速度、津波記録を含める。復旧の項目として、停止期間の日数を含める。

東日本大震災における発電所は16基、北海道胆振等地震における発電所は3基、2021年福島県沖地震における発電所は10基、2022年福島県沖地震は11基、2024年能登半島地震は3基で、合計43基である。サンプル数が少ないため、統計的な分析には限界がある。そこで、停止期間との関係がありそうな項目に絞って分析をする。

3. 分析

(1) 最大加速度と停止期間の関係

発電所の停止期間に影響し得る災害の外力として、最大加速度と津波高さが考えられる。他にも液状化の有無といった事象も考えられるが、本研究ではデータの限界から含めていない。津波に関して被害記録があるのは東日本大震災のみであり、他は全て地震のみの被害となっている。図1に、最大加速度と停止期間の関係を表した散布図を示す。相関係数は0.67、回帰式の決定係数は0.44であり、当てはまりは良くない結果であった。ここで、地震による影響のみと津波の影響も受けた発電所を分けることとする。図2に、津波高さと停止期間の関係を示す。相関係数は0.88、回帰式の決定係数は0.77であ

り相関関係は比較的高いことがわかる。そのため、津波による発電所の停止期間の影響は関連がありそうである。なお、本稿ではID116は津波被害はないものとしている。つぎに、地震の揺れのみによる影響を受けた発電所に絞って関連を分析する。図3に、最大加速度と停止期間の関係を示す。相関係数は0.62、回帰式の決定係数は0.39であり、当てはまりは良くない結果となった。地震の揺れの影響のみで停止期間を推定することは難しそうである。

関連性を見出すのは難しいであろうが、着目すべきは、およそ600Gal以上の最大加速度の地震の揺れの影響を受けている発電所の停止期間が非常に長いことである。ID301、302、401、402、501の発電所は、ばらつきはあるが、2~10ヶ月程度の停止期間となっている。その他、最大加速度600Gal以上の影響を受けて、停止期間が短い発電所として、ID403、407、409が挙げられるが、これらは営業運転開始年が新しい発電所であることがわかる。

(2) 営業運転開始年と停止期間との関係

地震の外力以外の要素を検討する。そこで、考えられるのは発電所の運用開始時期、すなわち、発電所の建設時期である。同じ揺れの外力であったとしても、古い発電所であれば、地震による設備への影響は、新しい発電所よりも大きく、復旧に時間を要するのではないかと考えられる。そこで、図4に、営業運転開始年と停止期間の関係を示し、関係性を確認する。相関係数は-0.24、回帰式の決定係数は0.06であり、相関関係はみられなかった。しかし、散布図を確認すると、1990年代に営業開始した発電所が突出して停止期間が長いことが読み取れる。営業運転開始年が1990年代の該当する発電所を確認すると、先述したIDが301、302、401、402、501であり、いずれも最大加速度は、約600~1000Galの強振動の影響を受けていることがわかる。他の発電所における最大加速度は、これよりも小さいものが多いため、最大加速度による影響を強く受けていることが推察される。

(3) 最大加速度と営業運転開始年による停止期間への影響

地震による最大加速度と営業運転開始年を説明変数として、停止期間を目的変数とした重回帰分析を行った結果を表2に示す。調整済みR²値は0.515で、F値は19.03(p<0.001)である。決定係数は大きくはないが、最大加速度、営業運転開始年それぞれ単体の関係性よりは当てはまりは良くなっている。回帰係数を確認すると、最大加速度は57.279であり、営業開始年の-30.178よりも数値が大きいことから、最大加速度の方が停止期間に影響する度合いが大きいことがわかる。ただ、営業運転開始年も影響は小さくない結果となった。また、いずれもp値は十分に小さく有意性はある。

以上を踏まえて、火力発電所の停止期間に関係している要素として、地震による最大加速度と営業開始年が候補となり得ることが明らかとなった。

4. 考察

過去の地震災害における火力発電所の被害と復旧の関係を統合して分析した結果、地震の揺れのみによる影響を受けた発電所においても、かなりの復旧期間を要することがわかってきた。まず、国が火力発電所に定めている基準や復旧期間の目安と、過去の災害での実績との相違について確認し、将来の大規模地震災害を想定した発電機能の喪失による社会的な影響に関する考察を行う。

表1 過去の地震災害における火力発電所の被害と復旧データベース

ID	災害	発電所	系列	総出力 (万kW)	燃料種類	営業運転開始年	最大加速度 (gal)	津波記録 (m)	停止期間 (日)
101	東日本大震災	原町	1号機	100	石炭・重油	1997	735	13	777
102	東日本大震災	仙台	4号機	44.6	天然ガス	2010	550	4.7	334
103	東日本大震災	勿来	7号機	25	石炭	1970	470.9	1.5	285
104	東日本大震災	新地	2号機	100	石炭	1995	585.1	2.5	283
105	東日本大震災	広野	4号機	100	重油・原油	1993	391	4	125
106	東日本大震災	広野	2号機	60	重油・原油	1980	391	4	122
107	東日本大震災	勿来	9号機	60	石炭・重油	1983	470.9	1.5	111
108	東日本大震災	常陸那珂	1号機	100	石炭	2003	321	1.5	65
109	東日本大震災	鹿島共同	3号機	35	高炉ガス・重油他	1982	359	0	88
110	東日本大震災	鹿島	6号機	100	重油・原油	1975	430	0	40
111	東日本大震災	鹿島共同	1号機	35	高炉ガス・重油他	1973	359	0	36
112	東日本大震災	鹿島	5号機	100	重油・原油	1974	430	0	28
113	東日本大震災	鹿島	2号機	60	重油・原油	1971	430	0	27
114	東日本大震災	鹿島	3号機	60	重油・原油	1972	430	0	26
115	東日本大震災	東扇島	1号機	100	LNG	1987	142.3	0	13
116	東日本大震災	八戸	3号	25	重油・原油	1968	143	0.5	9
201	北海道胆振東部地震	苫東厚真	2号機	60	石炭	1985	386	-	34
202	北海道胆振東部地震	苫東厚真	4号機	70	石炭	2002	386	-	19
203	北海道胆振東部地震	苫東厚真	1号機	35	石炭	1980	386	-	13
301	2021年福島県沖地震	新地	2号	100	石炭	1995	864	-	313
302	2021年福島県沖地震	新地	第1号機	100	石炭	1994	864	-	204
303	2021年福島県沖地震	仙台	4号	46.8	LNG	2010	521	-	142
304	2021年福島県沖地震	福島天然ガス	1号	59	LNG	2020	354	-	6
305	2021年福島県沖地震	福島天然ガス	2号	59	LNG	2020	354	-	6
306	2021年福島県沖地震	広野	5号機	60	石炭	2004	296	-	3
307	2021年福島県沖地震	広野	6号機	60	石炭	2013	296	-	3
308	2021年福島県沖地震	新仙台	3-1号系列	52.3	LNG	2015	511	-	1
309	2021年福島県沖地震	新仙台	3-2号系列	52.3	LNG	2016	511	-	1
310	2021年福島県沖地震	勿来	9号	60	石炭・重油・炭化燃料・木	1983	97	-	1
401	2022年福島県沖地震	新地	第1号機	100	石炭	1994	1058	-	239
402	2022年福島県沖地震	原町	1号	100	石炭・重油	1997	628.9	-	54
403	2022年福島県沖地震	相馬石炭・バイオマス		11.2	石炭・木質ペレット	2018	745.4	-	22
404	2022年福島県沖地震	広野	6号機	60	石炭	2013	551.5	-	20
405	2022年福島県沖地震	仙台パワーステーション		11.2	石炭	2017	560.4	-	13
406	2022年福島県沖地震	新仙台	3-1号系列	52.3	LNG	2015	560.4	-	8
407	2022年福島県沖地震	福島天然ガス	1号	59	LNG	2020	745.4	-	3
408	2022年福島県沖地震	石巻雲雀野		14.9	石炭・バイオマス・石炭	2018	391.8	-	3
409	2022年福島県沖地震	福島天然ガス	2号	59	LNG	2020	745.4	-	2
410	2022年福島県沖地震	広野	5号機	60	石炭	2004	551.5	-	1
411	2022年福島県沖地震	新仙台	3-2号系列	52.3	LNG	2016	560.4	-	0
501	2024年能登半島地震	七尾太田	2号機	70	石炭	1998	643.4	-	130
502	2024年能登半島地震	富山新港	石炭1号機	25	石炭	1971	289.2	-	14
503	2024年能登半島地震	富山新港	石炭2号機	25	石炭	1972	289.2	-	6

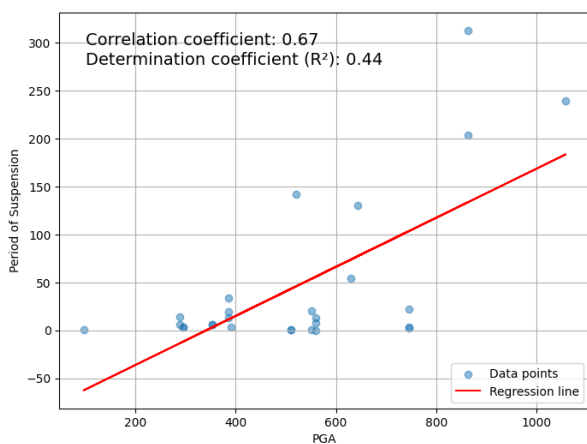


図1 最大加速度と停止期間の関係 (全体) n=43

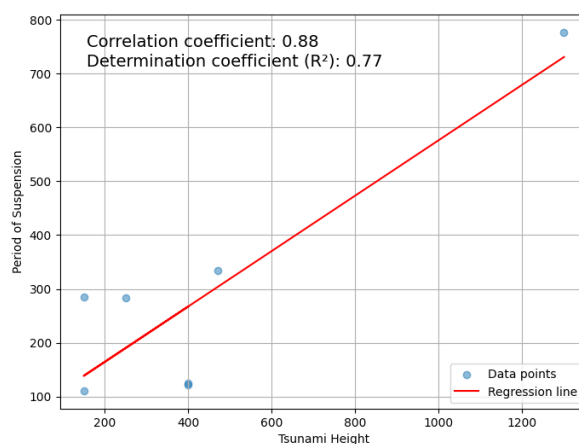


図2 津波高さと停止期間の関係 (津波) n=8

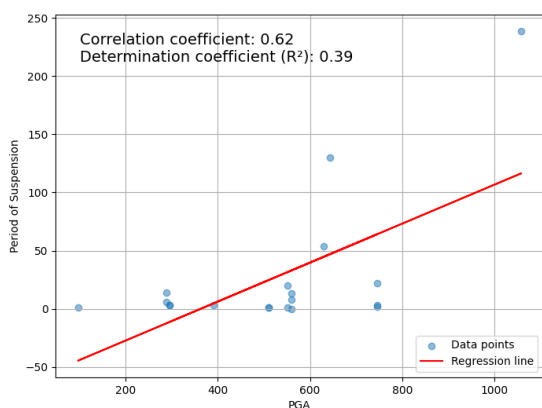


図3 最大加速度と停止期間の関係（地震）n=35

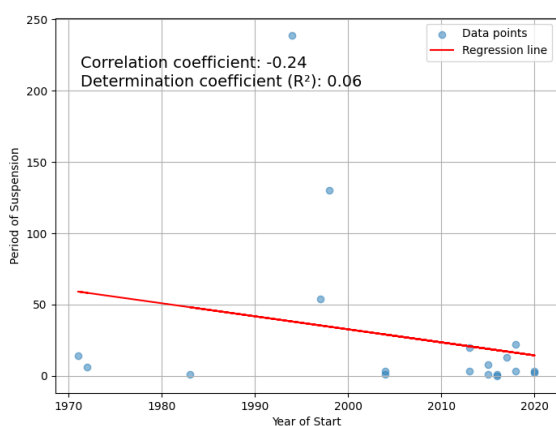


図4 営業運転開始年と停止期間の関係（地震）n=35

表2 重回帰分析の結果

	coef	std err	t	p
const	43.657	8.715	5.010	0.000
最大加速度	57.279	9.407	6.089	0.000
営業運転開始年	-30.178	9.407	-3.208	0.003

防災基本計画における電気設備等の耐震性区分において、発電所建屋・煙突、ボイラー及び附属設備等については耐震性区分Ⅱに分類され、高レベルの地震動に際しても著しい供給支障が生じないよう、代替性の確保、多重化等により総合的にシステムの機能が確保されることと定められている¹⁰⁾。また、東日本大震災の後、2014年～15年に、経済産業省電気設備自然災害等対策WGにおいて、電気設備の災害復旧に係る国の考え方が示された。そこでは、震度7であれば1ヶ月程度以上、震度6であれば1ヶ月程度以内が目安とされている¹⁰⁾。

しかしながら、本研究で示した過去の地震による発電所の外力と復旧の関係性からは、震度6強程度以上2～10ヶ月を要している発電所が多いことから、実際には、国で目安としている復旧期間とは異なり、より復旧のための時間を要していることがわかる。

以上を踏まえると、既存火力発電所の耐震性の確保や復旧迅速化策、さらには地震災害で同時被災しない別の電源を増設すること等を重点的に実施する必要がある。将来発生が懸念されている南海トラフ地震や首都直下地震においては、強振動の地震により火力発電所が同時多発的に影響を受ける可能性がある。地震後、広域的に数ヶ月以上といった長期間の電力不足に陥らないための対

策が必要である。

5. おわりに

本研究では、東日本大震災以降に発生した、火力発電所が大きな被害を受けた地震災害を対象として、発電所の被害と復旧の関係についてデータベースを作成し、発電所の停止期間に影響する要素を分析した。その結果、津波による影響、地震動における最大加速度、営業運転開始年については発電所の停止期間を推定するための要素の候補となり得ることを明らかにした。また、災害による火力発電所の復旧の実績と国が定めた基準や復旧の目安との相違を確認し、改めて将来の大規模地震災害に備えた対策の必要性を指摘した。

本研究の課題としては、最近の地震災害のデータを統合して行なったものの、データサンプルはまだ限られており、火力発電所の復旧期間を信頼性をもって推定できる有力な手法までは明らかにできていない。

謝辞

本稿は、「南海トラフ地震及び首都直下地震を対象とした被害軽減に関する研究」（事務局：ひょうご震災記念21世紀研究機構）における「停電分科会」の研究結果も踏まえて執筆した。本研究は、JSPS 科研費（基盤B）22H01752「相転移を回避するための南海トラフ地震による長期停電の新たな防災対策」（代表：河田恵昭）の助成を受けたものです。

参考文献

- 湯山安由美・梶谷義雄：2011年東日本大震災のデータに基づく火力発電所の被害・復旧関数の推計，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.70, No.4, pp.1_664-I_677, 2014.
- 寅屋敷哲也・河田恵昭：南海トラフ地震における中長期的な電力需給ギャップ推計方法の一試案，社会安全学研究，関西大学，No.2, pp.89-107, 2014.
- 寅屋敷哲也・河田恵昭・丸谷浩明：南海トラフ巨大地震による電力供給制約下の地域間電力融通における経済被害軽減対策効果の評価，地域安全学会論文集 No.24, pp.303-310, 2014.
- Tetsuya Torayashiki・Hiroaki Maruya：Study on Risk Reduction of Electric Power Supply Restriction by Reinforcement of Interconnection Lines Between Areas for the Nankai Trough Earthquake, Journal of Disaster Research, Vol.11, No.3, pp.566-576, 2016.
- 寅屋敷哲也・河田恵昭：令和4年福島県沖を震源とする地震による電力需給逼迫問題からの示唆—首都直下地震を対象として—，地域安全学会梗概集，No.50, pp.81-84, 2022.
- 土木学会エネルギー委員会新技術・エネルギー小委員会：東日本大震災におけるエネルギー施設（火力・水力・送変配電・ガス）の被害状況の今後への展開について報告書，2014.
- 一般社団法人火力原子力発電技術協会：東北地方太平洋沖地震火力発電所の被害と復旧調査報告書，2012.
- 北海道電力株式会社：北海道胆振東部地震対応検証委員会最終報告，2018.
- 経済産業省産業保安グループ電力安全課：令和3年2月に発生した福島県沖地震の被害とその対応のまとめ，2021.
- 経済産業省産業保安グループ電力安全課：福島県沖地震の被害状況と当WGにおける検討のポイント，2022.
- 北陸電力株式会社：令和6年能登半島地震の対応について，経済産業省電気設備自然災害等対策ワーキンググループ提出資料，資料1-3, 2024.
- 気象庁：令和6年1月地震・火山月報（防災編），2024.