

クウェートの発電所の容量と可用性の分析のダイジェスト版	Digest of Capacity and Availability Analysis of Power Plants in Kuwait
2012年国際産業工学・オペレーションズマネジメント会議議事録 トルコ、イスタンブール、2012年7月3日～6	Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, July 3 – 6, 2012

<https://ieomsociety.org/ieom2012/pdfs/380.pdf>

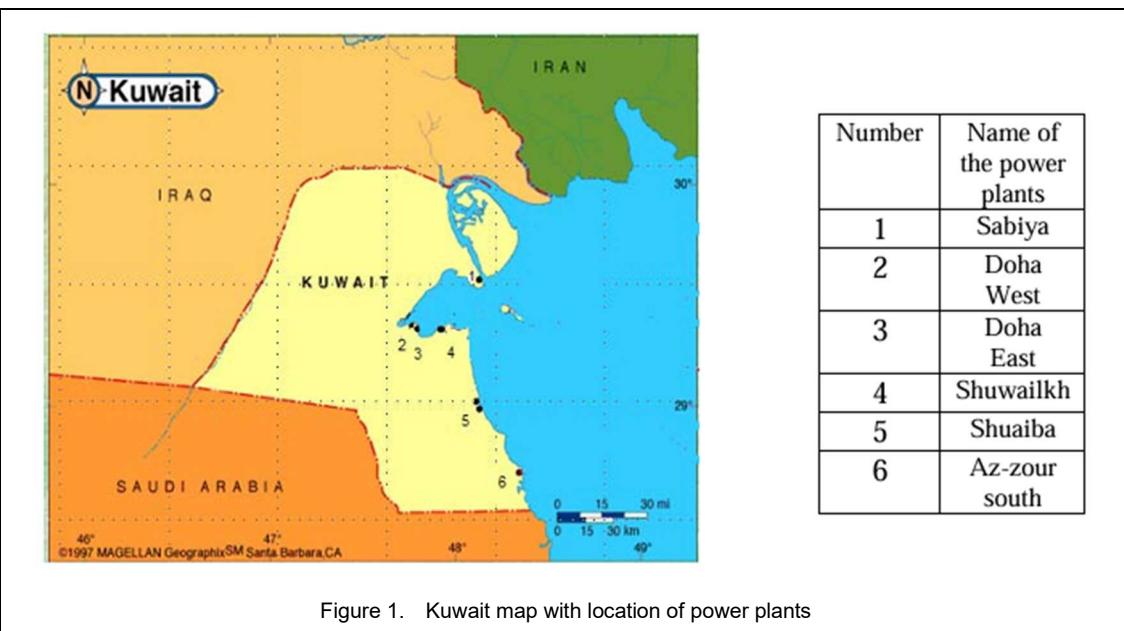
要約	Abstract
近年、発電プラント業界において、信頼性、可用性、そして容量は重要な課題となっています。老朽化した発電所を拡張することなく需要を満たすことも課題となっています。本稿では、クウェートにある熱電併給プラント（コージェネレーションプラント）における発電システムの可用性分析について述べています。さらに、クウェートの発電所の現状、可用性、電力需要、設備容量の概要を示す。蒸気タービンユニットに重点を置いたある発電所の確率的可用性分析を、1年間の実証データを用いて説明しています。結果は他の発電所に外挿され、異なる運転条件下での予想出力を決定します。	In recent years, reliability, availability, and capacity have become critical issues in power plants industries. It is also becoming a challenge to meet the demand without the expansion of aged power plants. This paper presents availability analysis of the power generation systems in cogeneration plants situated in Kuwait. Furthermore, an overview of the current situation about Kuwait power plants and their availability, demand for electricity, and installed capacity are presented. Stochastic availability analysis of one power plant with concentration on steam turbine units is illustrated using empirical data for one year. The results are extrapolated to other power plants to determine expected power output under different operational conditions.
1. はじめに	1. Introduction
発電と造水を同時にを行うコージェネレーション熱電併給) 方式は、信頼性が高く、効率的で経済的な発電手段であると同時に海水淡水化手段として、長年にわたり公益事業会社に利用されてきました。コージェネレーション発電所は、最大発電量を達成するために、様々なサブシステムから構成される複雑なプロセスエンジニアリングシステムです。	Cogeneration methods of electrical power generation and fresh water production has been utilized by utility companies for many years as a reliable, efficient and economic means of generating power and simultaneously desalting sea water . Cogeneration power plant is a complex process engineering system consisting of various subsystems to achieve the goal of maximum power generation. It is required to run various

<p>発電所の様々なユニットを長期間にわたり故障なく稼働させる必要があります。</p> <p>保守は、機器を所定の動作状態に維持または回復するために必要な複数の機能の組み合わせとして定義され、複雑なシステムにおいて不可欠な活動です。</p> <p>保守コストは運用コストの増加要因であることが知られており、したがって、運用改善の大きな機会と見なすことができます。</p> <p>意図された機能を継続的に実行している資産は、信頼できるとみなされます。あらゆる物理的資産が設計および指示された動作を継続することを保証するために使用されるプロセスは、信頼性中心保守として知られています。</p> <p>信頼性とは、「機器またはシステムが、想定された期間、想定された動作条件下でその目的を適切に遂行する確率」です。</p> <p>これは費用対効果の指標であり、通常は平均故障間隔(MTBF)で測定されます。可用性とは、「機器が規定の期間、規定の瞬間に必要な機能を正常に遂行する能力」です。</p> <p>コージェネレーションプラント内のいずれかのユニットで発生した故障は、システム全体の可用性と信頼性に影響を与えます。</p> <p>したがって、ユニットの信頼性と可用性を評価することは、その性能、能力、および限界を判断する上で重要な役割を果たします。また、定期的な保守活動の計画と決定、および故障発生時の交換または修理にも役立ちます。</p>	<p>units of the plant failure free for a long period of time.</p> <p>Maintenance, which is defined as combinations of several functions needed to keep in or restore the equipment to a designated operational state, is an essential activity in complex systems.</p> <p>Maintenance costs are known to be the increasing portion of operational costs, and therefore, can be seen as a major opportunity for operational improvement.</p> <p>An asset that continues to perform its intended function is considered as reliable. The process used to ensure that any physical asset continues to do what it is designed and instructed to do is known as reliability-centered maintenance.</p> <p>Reliability is "the probability of a device or system performing its purpose adequately for a period of time intended under the operating conditions encountered".</p> <p>It is a mean of cost effectiveness and normally measured as the mean time between failures (MTBF). Availability is "the ability of equipment to successfully perform its required function at a stated instant of time over a stated period of time".</p> <p>Any failure which occurs in any unit in the cogeneration plant will affect the overall availability and the reliability of the system.</p> <p>Therefore, evaluating reliability and availability of a unit plays an important role for determining its performance, capability, and limitations. It will also help in planning and deciding periodical maintenance activities and replacing or repairing when failures occur.</p>
<p>複雑な産業プラントの様々なシステムにおける信頼性と可用性の最適化とモデリングは、プラント</p>	<p>Optimization and modeling of reliability and availability in different systems of a complex</p>

<p>の経済性が信頼性と可用性に大きく依存するため、非常に重要な課題です。信頼性と可用性の様々な側面をモデル化し研究するために、様々な研究が行われてきました。</p>	<p>industrial plant is of great interest as the plant economy strongly depends on reliability and availability. Different studies have been carried out 1598 1599 to model and study different aspects of reliability and availability.</p>
<p>Tsai らは、複数コンポーネントシステムにおける機械的サービス、修理、交換という 3 つのアクションを同時に考慮した予防保守を、可用性に基づいて研究しました。</p>	<p>Tsai, et al. studied preventive maintenance in simultaneously considering three actions, mechanical service, repair and replacement for a multi-components system based on availability.</p>
<p>一方、Borges と Falcão は、配電網の損失を最小限に抑え、許容可能な信頼性レベルと電圧プロファイルを保証するために、配電網における分散型発電(DG)の割り当てと規模決定を最適に行うための手法を提示しました。</p>	<p>Whereas, Borges and Falcão presented a methodology for optimally distributed generation (DG) allocation and sizing in distribution systems, in order to minimize the electrical network losses and to guarantee acceptable reliability level and voltage profile.</p>
<p>彼らは、遺伝的アルゴリズム(GA)手法と、システムの信頼性、損失、電圧プロファイルへの DG の影響を評価する手法を組み合わせました。</p>	<p>They used a combination of genetic algorithms (GA) techniques with methods to evaluate DG impacts in system reliability, losses and voltage profile.</p>
<p>Kancev と Cepin は、原子力発電所における試験と保守が安全システムと機器の信頼性を向上させることを示し、これは待機システムにとって特に重要である。Sanchez ら [11]は、決定論的モデルと確率論的モデルという 2 種類のモデルを研究し、試験と保守活動が機器の非稼働率とそれに伴うコストに与える影響をシミュレートすることを検討しました。</p>	<p>Kancev and Cepin [10] showed that testing and maintenance improve the reliability of safety systems and components in nuclear power plants, which is of special importance for standby systems. Sanchez, et al. studied two types of models, i.e. deterministic and probabilistic, and considered them to simulate the impact of testing and maintenance activities on equipment unavailability and the cost involved.</p>
<p>Marseguerra と Zio は、遺伝的アルゴリズムによる最大化手順とモンテカルロシミュレーションを組み合わせた最適化手法を提示しました。</p>	<p>Marseguerra and Zio presented an optimization approach based on the combination of a Genetic Algorithm maximization procedure with a Monte Carlo simulation.</p>
<p>Haghifam と Manbachi は、発電、燃料分配、発熱の各サブシステムを備えた状態空間と連続マルコ</p>	<p>Haghifam and Manbachi proposed a combined heat and power reliability and availability model based on the state space and the continuous</p>

<p>フ法に基づく熱電併給の信頼性と可用性モデルを提案しました。</p> <p>Eti 氏らは、アファム火力発電所のガスタービンプラントの性能に関する調査を発表し、発電量の減少（利用不能による）による経済的影響が数年のうちに発電所と関連機器の初期購入価格を超えたことを示しました。</p> <p>プロクターらは、塵埃の多い条件下で稼働するガスタービン待機システムの信頼性モデリングを発表した。彼らは履歴データに基づいてマルコフモデルを開発し、システムを分析し、定常状態の可用性を決定しました。</p> <p>本論文では、クウェートにあるコジェネレーションプラントの発電システムの可用性分析について論じる。本研究では、クウェートの発電所の現状、可用性、電力需要、設備容量、および将来の需要予測の概要を示します。</p> <p>さらに、7つの発電所のうち1つを選択し、その信頼性と定常状態の可用性を分析するための確率モデルを開発します。結果を他の発電所に外挿することで、クウェートのすべての発電所からの予想総発電量を推定します。</p>	<p>Markov method with electricity-generation, fuel-distribution and heat-generation subsystems.</p> <p>Eti et al. presented a survey of the performance of gas-turbine plants in Afam Thermal-Power Station and showed that the financial impact of lost generation (through non-availability) exceeded within a few years, the initial purchase price of the power plants and associated equipment.</p> <p>Proctor et al. presented reliability modeling of a gas turbine standby system operating under dusty conditions. Based on the historical data, they developed a Markov model and analyzed the system to determine the steady state availability.</p> <p>This paper discusses the availability analysis of the power generation systems in cogeneration plants situated in Kuwait. The study presents an overview of the current situation of Kuwait power plants, their availability, the demand for electrical power, installed capacity, and estimated requirements for the future.</p> <p>Furthermore, one of the seven power plants is selected and a stochastic model is developed to analyze its reliability and steady state availability. The results are extrapolated to other power plants to estimate expected total power output from all plants in Kuwait.</p>
<p>2. クウェートの発電・配電構造</p>	<p>2. Power Generation and Distribution Structure in Kuwait</p>
<p>クウェートの発電は、主に熱電併給・淡水化発電所に依存しています。</p> <p>クウェートには、図1のクウェート地図に示されているように、ドーハ東部、ドーハ西部、シュアイバ、アル=ズール南部、サビヤ、シュワイクの6つの発電所があります。これらの発電所では、</p>	<p>Power generation in Kuwait depends primarily on the cogeneration-desalination power plants.</p> <p>There are 6 power plants in Kuwait, namely: Doha East, Doha West, Shuaiba, Al-Zour South, Sabiya, and Shuwaikh as shown on the Kuwait map in figure 1. These power plants employ both thermal</p>

<p>発電に熱蒸気タービンとガスタービンの両方が採用されています。</p> <p>設備容量は、熱蒸気タービンと熱ガスタービンで分担されています。熱蒸気タービンは発電容量の85%を占め、熱ガスタービンは総容量のわずか15%を占めています。</p> <p>電力水省(MEW)は、国民への電力と水の供給に責任を負っています。 MEW は、過去 25 年間の電力と水需要の 700% の増加に対応するため、熱電併給発電所の建設を進めてきました。現在、これらの発電所の総発電量は 12,880MW、供給量は 423.1MIGD (百万英ガロン/日) に達しています。これらの発電所はレイアウトは同一ですが、規模と設備容量が異なります</p>	<p>steam turbines and gas turbines for power generation.</p> <p>The installed capacity is shared between thermal steam turbines and thermal gas turbines. While thermal steam turbines constitute 85% of power generation capacity, thermal gas turbines provide only 15% of the total capacity.</p> <p>The Ministry of Electricity and Water (MEW) is responsible for supplying power and water to the population. The MEW has met the 700% growth in demand for electricity and water during the past 25 years by the construction of a system of cogeneration plants, now totaling 12,880 MW of power and 423.1 MIGD (Million Imperial Gallons of Water per Day). These plants are identical in layout but different in size and installed capacity.</p>
--	---



<p>クウェートのプラントは、図 2 に示すように、各プラントにボイラー、ターボ発電機、蒸留器が備わっているという点で典型的です。ボイラーは燃料から高圧蒸気を生成し、ターボ発電機は高圧蒸</p>	<p>The Kuwait plants are typical in that each plant has a boiler, a turbo-generator, and a distiller as shown in figure 2. The boilers produce high pressure steam from fuel; the turbo-generators produce electric power from high pressure steam</p>
---	--

気から電力を生成し、蒸留器は低圧蒸気を使用して塩水から淡水化水を生成します。

共通の蒸気ヘッダーがプラントのボイラーを接続しているため、あるユニットのボイラーからの蒸気を別のユニットの蒸留器で使用できます。

生成された水は貯水池に貯蔵され、計画期間の各期間における予測需要を満たすために使用されます。プラントは、各期間における電力と水の需要も満たす必要があります。

and the distillers produce desalinated water from salt water using low pressure steam.

A common steam header connects the boilers of a plant so that steam from a boiler in one unit can be used by a distiller in another unit.

The water produced is stored in reservoirs which are used to meet the predicted demand at each time period of planning horizon. The plants should also satisfy the demand for electric power and water during each time period.

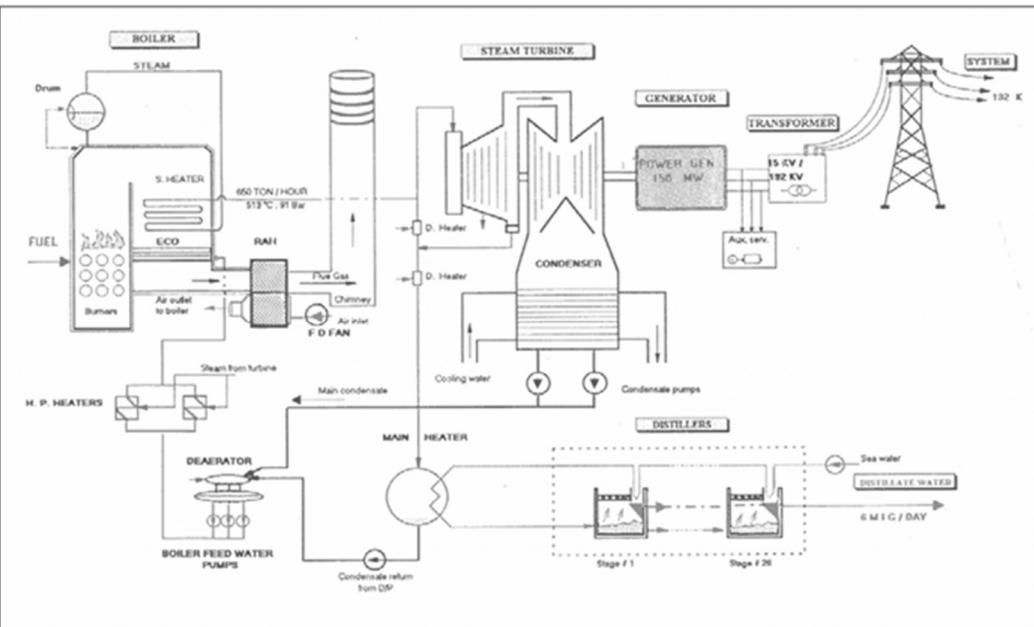


Figure 2: Elements of the units of a typical cogeneration plant in Kuwait

通常の状況では、総発電量は、熱エネルギーを機械エネルギーへ、そして電気エネルギーへ変換する熱蒸気タービンのみの利用によって達成されます。

一方、熱ガスタービンは、緊急時およびピーク負荷時にのみ使用されます。クウェートの蒸気タービ

Under normal conditions, total power generation is achieved through the utilization of only the thermal steam turbines that convert the thermal energy into mechanical energy and then to electrical energy.

On the other hand, thermal gas turbines are used only in emergencies and times of peak loads. The installed capacities of the power plants, including

<p>ビンおよびガスタービン発電所を含む発電所の設備容量を以下の表 1 に示します。</p>	<p>steam turbine and gas turbine plants in Kuwait, are shown in Table 1 below.</p>
<p>クウェートでは、天然ガス、重油、原油、軽油など、さまざまな種類の化石燃料が利用可能であり、これらの発電所の発電に使用されています。</p>	<p>Different types of fossil fuels are available in Kuwait, such as natural gas, heavy fuel oil, crude oil, and gas oil, which are utilized for power generation in these plants.</p>
<p>クウェートの人口は過去 30 年間で 3 倍に増加しました。消費量と容量拡大の傾向を示すため、過去 34 年間の電力消費量の増加を表 2 に示します。</p>	<p>Kuwait population has tripled during the past three decades. The increasing consumption of electricity is shown in Table 2 for the past 34 years to illustrate the trend in the consumption as well as capacity expansion.</p>
<p>表 2 からわかるように、人口は 1,107,633 人から 3,484,881 人に増加しており、これは 34 年間で約 215% の増加です。</p>	<p>As it is seen from table 2, population has increased from 1,107,633 to 3,484,881, which is an increase of about 215% in 34 years.</p>
<p>しかし、設備容量は 1,868MW から 12,879MW に増加しており、約 590% の増加となっています。</p>	<p>However, installed capacity has increased from 1,868 MW to 12,879 MW, an increase of about 590%.</p>
<p>表 2 の最後の列は、電力消費量の推移が人口増加の推移よりもはるかに高いことを示しています。また、一人当たりの消費量は約 177% の増加を示しており、これはクウェートの生活の質の向上を示しています。</p>	<p>The last column in table 2 shows that the trend in power consumption is much higher than the trend in population increase. Also, per capita consumption shows an increase of about 177%, which is an indication of the increase in quality of life in Kuwait.</p>
<p>一人当たりの電力消費量の増加は、水・電力省にとって、電力供給の中止や制限なしに需要を満たすという大きな課題となっています。</p>	<p>This high consumption of electricity per capita presents a real challenge to the Ministry of Water and Electricity to satisfy the demand with no power interruptions or restrictions.</p>

Table 1. Installed capacity of power plants in Kuwait		
Stations	Steam Turbine MW	Gas Turbine MW
Shuwaikh Station	-	252
Shuaiba Station	720	660
Doha East Station	1050	108
Doha West Station	2400	112.8
Al-Zour South Station	2400	1976
Sabiya Station	2400	500.2

Table 2. Increase in Kuwait population and installed capacity of power plants

Year	Population	Installed Capacity MW	Per Capita Consumption KWh/Person
1977	1107633	1868	4825
1979	1332611	2578	5656
1987	1926328	6696	8054
1989	2097570	7411	8606
1997	1837450	6898	12442
1999	2148032	8289	12552
2007	3399637	10481	12527
2009	3484881	12879	13372

6. 結論	6. Conclusions
本稿では、クウェートの発電所の容量と可用性について詳細な分析を行いました。	This paper has presented a detailed analysis of capacity and availability of electrical power stations in Kuwait.
分析の結果、クウェートの人口は過去 34 年間で 3 倍以上に増加し、電力需要はほぼ 7 倍に増加したことが明らかになりました。これは、生活の質と所得水準の向上に伴い、一人当たりの電力消費量が大幅に増加したことを意味します。	The analysis show that as Kuwait population has increased over the past 34 years by more than 3 times, the demand for power consumption has increased by almost 7 times.
電力省は、過去数十年にわたり、ますます多くの発電所を設置することで、この増加に対応してきました。	This indicates a high increase in per capita power consumption due to increase in quality of life and income level. The ministry of electricity has been coping with this increase by installing more and more power units over the past decades.
7 つの発電所の可用性を分析するためのモデルが開発されました。その結果、予防保守のほとんどは、空調設備の需要により電力需要が低い冬季に計画されていたことが判明しました。	Models were developed to analyze the availability of seven power stations. It was found that most of the preventive maintenances were scheduled during the winter months when the demand for power was low due to air conditioning requirements.
一部の発電所では運用可用性が非常に高かった一方で、不適切な PM スケジュールが原因で、他の発電所では稼働可用性が非常に低い値でした。	While operational availability was very high in some stations, the figure was very low for some other stations possibly due to inappropriate PM schedules.
概して、現在の可用性レベルで需要は満たされていました。 7 基の蒸気タービンを備えた発電所のうちの 1 つから得られたデータと待ち行列解析に	In general, the demand was met with the current availability levels. A stochastic model was used, based on queuing analysis and available data

<p>基づく確率モデルを用いて、定常状態で稼働するタービンの予想台数を決定してみました。</p> <p>このモデルは、すべての発電所の故障率が選択された発電所と同様のものであると仮定し、長期的にすべての発電所から予想される発電量を決定しました。</p> <p>さらに、確率解析に基づいて、修理班の数と修理レベルがシステムの可用性と予想発電量に及ぼす影響を推定しました。</p> <p>結果は、追加の修理班による修理率の増加が、システムの可用性と予想発電量を大幅に向上させることを示しました。本論文で提示されたモデルと解析は、運用において利用可能です。</p>	<p>from one of the power stations with 7 steam turbines, to determine expected number of turbines that would be operational in the steady state.</p> <p>This model was used to determine expected power output from all stations in the long run assuming that all stations had similar failure rates as the selected station.</p> <p>Furthermore, effects of the number of repair crews and level of repair on the system availability as well as the expected power output was estimated based on the stochastic analysis.</p> <p>The results indicated that increasing repair rates by additional repair crews considerably increased system availability and the expected power outputs. Models and analysis presented in this paper can be used by oper</p>
---	--