

都市のエネルギーと水の分散型システムに関する研究

— 福山市の減災事例として —

堤 行彦 福田正己 石尾広武 澤田結基

要旨

津波や液状化などによる都市災害に対し、被害の軽減や災害後復旧に有効なエネルギーや水の都市インフラシステムが求められている。本論文では、エネルギー（電気・ガス）と水（上下水道）の分散型施設とその統合的システムの在り方を既存の情報を踏まえて整理し、エネルギーと水の新しい分散型システムの考え方について、福山市（市街地区域のみ）をモデル都市として検討した。

その結果、津波や液状化の被害と人口密度などを考慮し福山市街地を4区画に分割し、その地区ごとにLNG（液化天然ガス）を利用したガスタービン式熱電供給システムの設置、膜導入による下水循環利用も組み込んだ多元水利用システムの導入、それらエネルギーと水の統合・管理システムの採用など、エネルギーと水の新しい分散型都市システムに関する考え方を示すことができた。

キーワード：エネルギー、上下水道、分散型システム、減災、福山市

1. はじめに

2011年3月11日に未曾有の大震災である東日本大震災が発生した。その後の震災に関する調査結果や今後の対策について、国や財団等の機関から多くの報告がなされている^{1)~3)}。そのような中で、特に仙台をはじめとする大都市や中規模の都市で、エネルギー供給網、上下水道の施設などライフラインに多大の被害が発生したこと、また、地震による倒壊や津波による損壊に加えて、関東地域にまで広域に発生した液状化による都市インフラの損壊という従来にない災害の広域性・重大性など特質すべき点も多い。このように、都市のライフライン被災状況調査で浮かび上がった都市災害への脆弱性に対し、災害に強い都市のライフラインをどのようなシステムにするべきかという重要な課題を抱えたと言える。

そのような状況の下、都市のライフラインに対する施設個別の対応策や事後対応については、被災をしなかった自治体も含めその見直しがソフト、ハードの両面で進められつつある。しかし、電気やガ

ス、上下水道といったライフラインの施設はそれぞれが相互に関連をして成り立っていることから、上水道、下水道、電気やガスといった個別のインフラ施設だけでその減災対策を考えるのではなくそれぞれを連関させた全体システムとして考えていくことが重要となる。

一方で、現状のエネルギー（電気・ガス）や上下水道では、その効率性の観点などからそれぞれが独立した広域的集中管理システムの考え方を基本にそのシステムが構築されてきた。しかし、今回の震災でその脆弱性が明確になったことから、地震等に対する新たな都市ライフラインのシステム提案が必要となっている。その対策手法の一つとしてエネルギー（電気・ガス）や上下水道の広域的集中管理から分散型統合管理の考え方への移行が有効な方法であると筆者らは指摘してきた⁴⁾。

本論文では、福山市（市街地区域のみ）をモデル都市事例として地震や津波、液状化による被害予測などを踏まえて、エネルギーと水の供給システムに関する統合的かつよりコンパクトで効率的な分散型

システムの新たな考え方を提示するものとした。

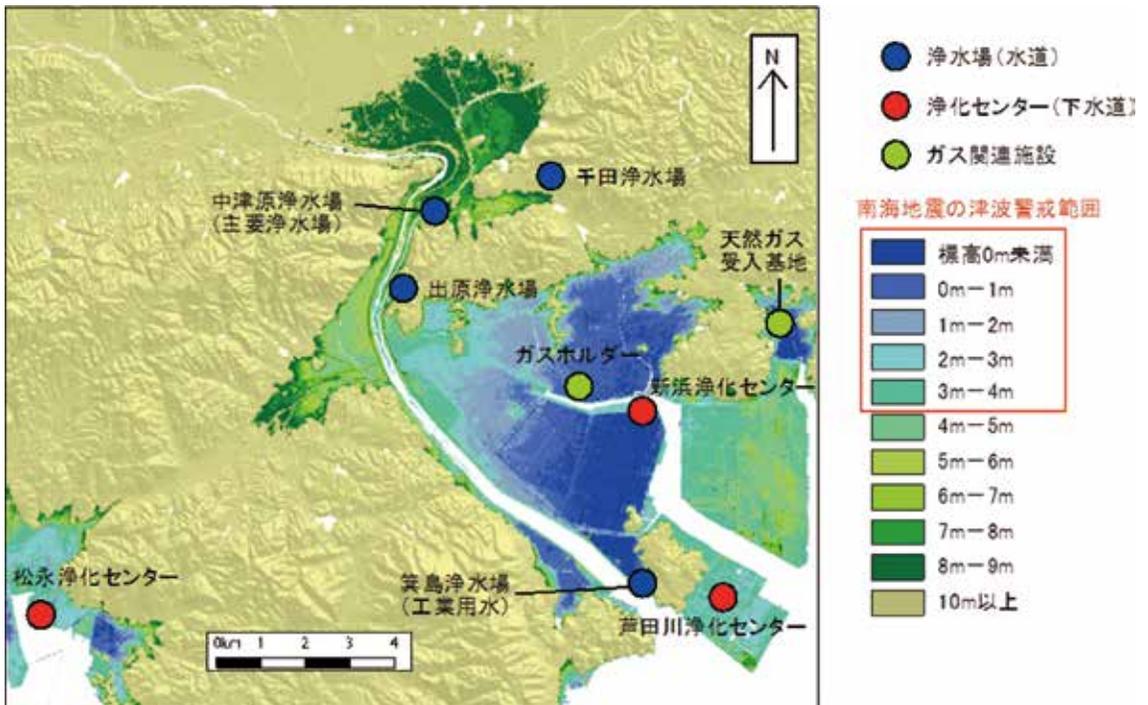
福山市全体では人口約48万人の中四国の中核都市であり、近い将来発生するとされている東南海・南海地震による影響予測も示されている⁵⁾。このようなことから、エネルギー（電気・ガス）や上下水道の分散型統合管理システムによる減災対策を考える中四国の中核都市モデルとして、福山市を適用対象とすることとした。

2. 福山市の津波と液状化被害想定

2.1 津波

四方を山地に囲まれ、沖積低地上に位置する福山中心部は、震度6以上の強い揺れに対して必然的に脆弱な構造を持つ。その脆弱性は、（1）沖積低地の大部分が近世以降の干拓地であり、海水準と同じかそれ以下の標高であること、（2）芦田川が

運搬した砂-粘土が厚く堆積し、そのほとんどが地下水水面下にあること、の2点に起因する。標高が0mあるいはマイナスであることは、津波災害に対する脆弱性を生む。図1は、福山市中心部の標高を、国土地理院の数値地図（国土基本情報）に含まれる10mメッシュ標高データから図化した地図である。福山駅の南東側に、標高が海水準以下の地域（濃い青色）が広がっており、この地域が津波に対して最も脆弱であると言える。この地域（沖野上、新涯、川口）の大部分は近世の干拓で造成された土地であり、地盤改良や嵩上げなどはまったく考慮されていない。海水準以下の標高帯は、内港に面した手城地区にも広がっている。内閣府の資料⁵⁾によると、福山市で想定される津波の最大波高は5-6mとなり、最悪のケースでは市内中心部の大部分が津波の影響を受ける可能性がある。



*海面下の標高帯にある地域の大部分（青色）は、近世に干拓された土地である。戦後に埋め立てられた土地は標高2～3m以上に嵩上げされている。

図1 福山市中心部の標高分布、津波被害想定区域と水・エネルギー供給施設
(国土地理院基盤地図情報「数値標高モデル」を使用し、Quantum GISを用いて作成)

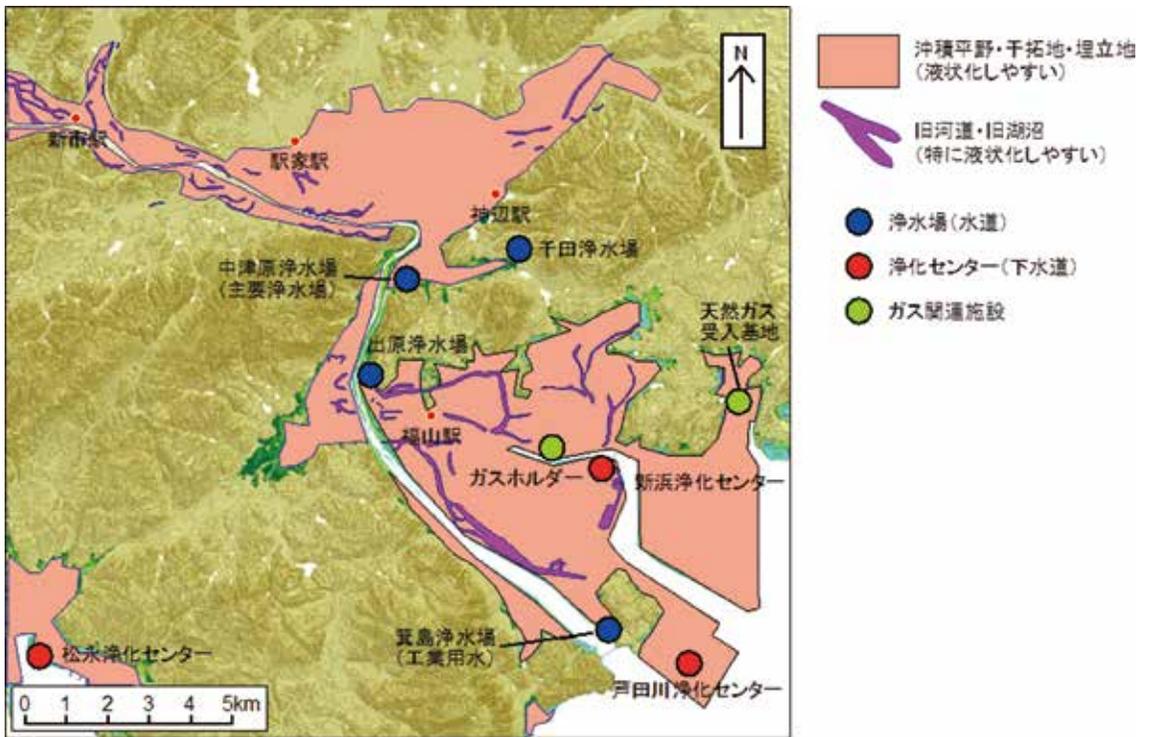


図2 福山市中心部の液状化被害想定区域と水・エネルギー供給施設
 データの出典：1:25000治水地形分類図「福山」(国土地理院)

2. 2 液状化現象

東日本大震災では東北の津波災害が大きくクローズアップされたが、関東平野の沿岸部や河川周辺の低地では液状化現象による地盤沈下の被害が深刻であった。液状化現象で生じる家屋の傾斜や道路の陥没では死傷者は少ないが、都市のインフラ、特に地下埋設の水道管や下水道管、電柱で支えられる送電設備に甚大な被害が発生し、その回復には数年以上と長期の時間が必要である。そのため、都市機能の素早い回復の足かせとなる懸念がある。図2には、液状化現象を起こしやすい地盤の分布を示す。福山駅周辺を含む市内中心部のすべての範囲で液状化の可能性があり、過去の河川流路跡では特に危険度が高いと判断される。

3. 福山市のエネルギーと水関連の施設被害想定

福山市のエネルギーと水に関する施設の津波被害想定をするために、東南海・南海地震における福山市街地の津波被害予測をベースに上下水道施設及びガス受け入れ基地・ガスホルダーの設置位置も同時にプロットしたものが図1である。

エネルギーに関しては、天然ガス受け入れ基地、ガスホルダーの設置場所は標高4m未満の津波警戒範囲に存在しており、津波の被害を受ける可能性が非常に高いことを示唆している。

また、上下水道施設関連では、水道施設の浄水場は山側で当然のことながら標高の比較的高い位置に設置されており主要浄水場である中津原浄水場、千田浄水場などは津波による被害は小さいと推定できる。しかし、工業用水のための箕島浄水場は海側にあり津波被害を受ける可能性は大きく、工業用水の

供給に関して復旧が遅れる可能性が予測できる。

下水道の浄化センターは下水を自然流下で受け入れる場合が一般的で、福山市街地のほぼ全域の下水を受け入れる最大処理量がある芦田川浄化センター、今後廃止が検討されているが新浜浄化センター、そのほかに松永地区にある松永浄化センター等すべて海側の標高の低い場所に設置されており津波で多大な被害を受ける可能性が非常に高い。また、福山市街地のほとんどが標高4m未満となっていることから、施設だけでなく上下水道の配管や都市ガスのパイプラインに甚大な被害が及ぶことも懸念され、ライフラインの復旧に時間を要することが推定される。

図2には、津波の場合と同様に東南海・南海地震における福山市街地の液化化被害予測の上に上下水道施設及びガス受け入れ基地・ガスホルダーの設置位置をプロットして示したものである。液化化被害の想定でも、津波被害と同様海側に設置されているガス供給施設や下水道浄化センターの被害が大きいことがわかる。また、上下水道の配管網や天然ガスのパイプラインも同様に大きな被害が予測される。

以上のように、津波や液化化によって天然ガスなどの供給施設やここでは示していないが電力の送電網などエネルギー関連施設が大きな被害を受けることが想定できる。また、上水道、下水道の水関連インフラは上水道よりも下水道施設がかなり大きな被害を受けることがわかる。このような電力供給の復旧地域格差や水道と下水道の被害規模の違いは復旧にも当然影響する。上下水道では、下水処理施設の復旧の遅れのため、仙台市の被害事例⁴⁾と同様、水道の復旧に伴い流入する下水の処理ができず未処理下水を海に放流するという対応を取らざるを得ない結果となることも推定できる。このように、エネルギーや水のインフラ施設が広域的・集中的なシステムになればなるほどその被害や復旧に長期間が必要となり、災害時及びその後の復旧でのライフライン確保に長期化を伴ってしまう。従って、エネルギーと水のインフラ施設の在り方について、現在の延長線上の広域・集中型システムではなく新しい考え方の導入が必要であると考えている。このような状況

を踏まえ、今回は都市の分散型インフラシステムの考え方を取り上げて、エネルギーと水の分散型施設の考え方、その統合的システムの考え方など福山市（市街地区域のみ）をモデル都市として検討を進めた。

4. エネルギーと水の分散型都市システム

4.1 エネルギーと水の分散型都市システムの考え方

現状は、この福山市街地全体を大規模集中システムでカバーするエネルギー（電気とガス）と水（上下水道）のインフラシステムが構築されている。例えば、電力は中国電力から一括で、プロパンガス利用地域を除きガスはLNG（液化天然ガス）ガスの供給関連施設から広範囲に、また下水道は芦田川浄化センターにほぼ集中的に福山市街地の下水が流入するなど、それらの施設がいったん被害を受けると大規模・長期的に影響が及ぶシステムとなる可能性がある。そこで、被害ができるだけ最小になるようにするためには大規模集中型エネルギー及び水のインフラシステムではなく、災害時の復旧やインフラシステムの復旧バランスが最適に機能するようなシステムが必要である。そのための考え方として、分散型で自立できるエネルギーと水のインフラシステムを検討することが重要となる。

福山市街地をベースに分散型都市モデルのイメージ図を図3に示した。立地や地形、地盤などの検討を踏まえ、さらに居住地区や工業地区、商業地区などの都市の活動形態も踏まえて分散型の自立地域を考えることが基盤になる。それぞれの、分散型自立地域の中に自立できるエネルギーや水の関連したシステムを組み上げておくことが必要となる。また、エネルギーや水が独立して機能するのは災害時に復旧のアンバランスが生ずるためそのことへの対応、加えてエネルギー利用の最適化を図るためにはエネルギーと水の統合・管理システムの導入と運用を考えておくことが不可欠である。また、各分散型自立地域や他都市との連携が取れる統合・管理システムの運用も必要となる。このような考え方をベー

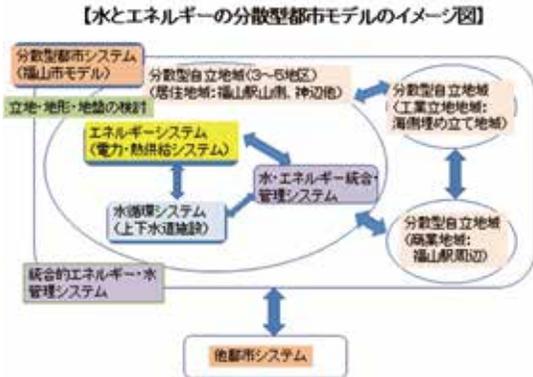


図3 水とエネルギーの分散型都市モデルのイメージ図（福山市をモデル）

スとして福山市街地を人口密度や津波・液状化被害想定を考慮していくつかの分散型自立地域を設定し、それぞれの地域における分散型で自立できるエネルギーと水システムの検討を行った。

4. 2 福山市の分散型都市システムの区割りの考え方（スモールグリッドの細分提案）

都市インフラを地震・津波災害から素早く復旧させるには、1箇所の大規模な施設からエネルギーや水を送るのではなく、地域を細分して、それぞれの区域に施設を設置することが必要となる。そのような考え方を検討する上でスモールグリッドの考え方が有効である。図4は、福山市街地の地区別人口密度を、図1の標高分布に重ねた地図である。福山市の人口集中地区を4分割した。それぞれの区域には、標高の高い山地を含むように設定した。発電所などの基本的なインフラ施設を市街地に近い山地に設置する一例を示したが、地震時の津波や液状化の被害を最小限に食い止めることができ、復旧フェーズの期間を大幅に短縮することが可能であると考え

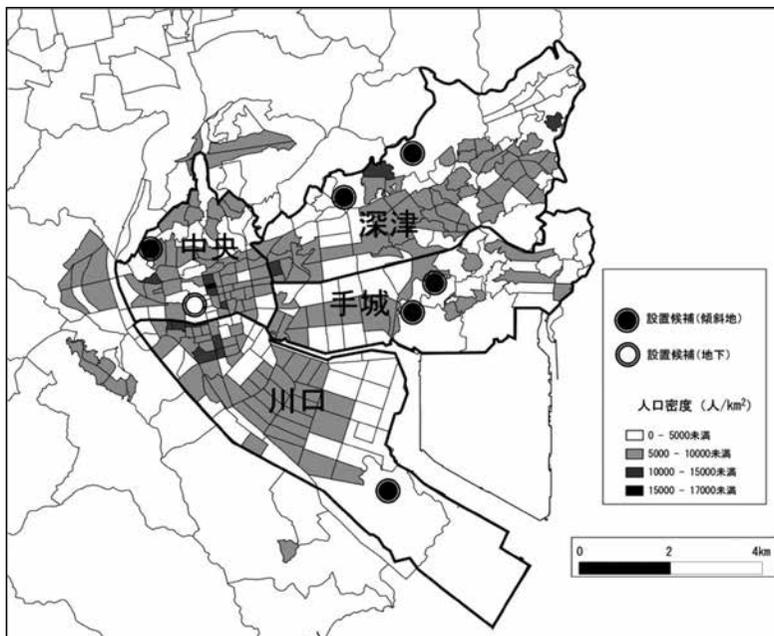


図4 福山市街地の人口密度とスモールグリッドの地区分割提案（平成22年国勢調査 人口等基本集計のデータに基づき作成）

4.3 エネルギー分散型の供給システムとその考え方

4.3.1 天然ガス利用のエネルギー供給システム

優れた性質を持つ天然ガスを積極的に利用することで、熱と電気の供給を同時に行えるコージェネレーションの導入が進められている。しかしその最大のネックは化石燃料である天然ガスの存在量と価格である。将来にわたって安定してまた安価に天然ガスを供給できるかが問題となっている。世界の採取可能な在来型の天然ガス埋蔵量は208.4兆立方メートルであった⁶⁾。シェール層から採取可能な非在来型の埋蔵量は米国エネルギー省の推定によると187.5兆立方メートルにも達する。合計した埋蔵量を現在のペースで消費すると約120年間は天然ガスが供給出来ることになる。既に増産が進んでいる米国では天然ガスの供給の25%がシェールガスであり、10年以内にその割合は45%に達すると予測されている⁷⁾。またカナダでのシェールガスの増産やロシアの天然ガスコストなどによる一般的なコスト低下傾向など、天然ガスの世界規模の貿易状態が急変しつつあり、日本のLNG輸入には追い風となっている。このような理由から、天然ガス利用のエネルギー供給システムは今後のエネルギー分散型システムを検討する上で重要な役割を果たしうると考えている。

4.3.2 熱電供給システムーガスタービン発電

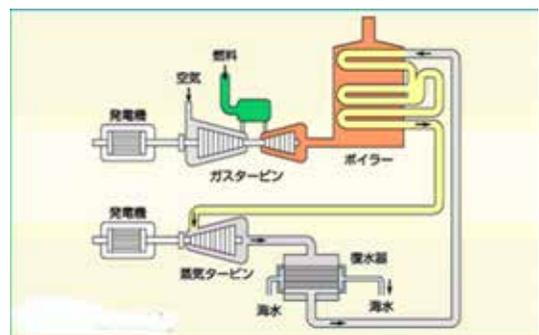
日本は世界最大のLNG（液化天然ガス）の消費国であり、日本のエネルギー源の23%（2011）を占めている⁸⁾。天然ガス発電を行う方法にはガスタービン式とガスエンジン式があり、後者は非常時電源として用いられることが多い。発電出力はガスタービン式が大きくまた排熱温度の利用から、熱電供給（コージェネレーション）で利用される。

ガスタービン式では軸に連結した発電機では数万Kwhの出力が得られる。また高温の排熱を回収して熱源として供給するシステムがコージェネレーション（熱電供給システム）である。この発電方式の利点は装置がコンパクトで発電所の立地が容易であること、航空機ジェットエンジンと同型であることから高信頼であること、LNGを燃料とする場合には排気

に有害な不純物を含まないこと、発生する雑音は高周波でその対策も容易であること等、こうした利点から市街地に立地させることが可能となり、地域に電力と熱エネルギーを同時に供給可能である。

これをさらに高効率化したのがコンバインドサイクルガスタービンシステムである。図5にその模式図⁹⁾を示す。これは2台のタービンを連結させる。上段のタービンは燃料に天然ガスを用いるが、排熱を回収しボイラーで水を加熱して蒸気を発生させる。これを下段の蒸気タービンに導き発電機を駆動する。蒸気は復水器で水に戻すが、冷却には海水を使用する。このため立地は海岸付近に限定される。ボイラーからの排熱を回収して温水として供給することも可能であり、コージェネレーションシステムにも応用できる。コンバインドサイクルタービン発電では熱の利用効率は60%を超える。これは従来の石炭あるいは重油を燃料とする発電システムが最大でも効率は30%に過ぎないことと比較してもその高効率がわかる。日本では数10万Kwhの大型発電所で使用されている。

今回の福山市街地での利用計画では、このガスタービン式とコンバインドサイクルガスタービンシステムを導入する。



(三菱重工HPより引用：http://www.mhi.co.jp/products/detail/ccpp_mechanism.html)

図5 コンバインドサイクルガスタービン

4. 3. 3 福山市街地への天然ガス利用のガスタービン発電による熱電供給

天然ガスを利用するガスタービン発電は、技術革新からそのエネルギー効率が高まっている。そこで福山市の場合に市街区をスモールグリッドによる4地区分割に柄地区を加えた範囲で6カ所のガスタービンによる発電施設を設置する。この市街区の人口は約25-30万人である。住民の必要な電気量は以下の手順で推定した。1世帯（2.5人）当たりの月間電力消費量は約283kWh（2009年度）とされており¹⁰⁾、人口1人あたりでは約3.8kWhである。そこでこの地域では電力を約100万KWh供給すれば良いことになる。そこで、市街地のエネルギー供給の方法として、天然ガスによる熱電供給を想定した。発電に用いるガスタービンの機能向上と小型化により、必要な場所で必要なだけ発電することで、エネルギーの無駄を省くことが出来る。一旦発電した電気を貯めるとことは困難であり、また効率が悪い。天然ガスを利用する場合、需要に応じて発電することが可能であり、またガスは貯蔵が容易である。発電所が遠隔地に立地する場合には、途中の送電ロスが発生するが、ガス導管による供給では途中のロスが存在しない。これらのことから、中小規模のガス発電施設を市内数カ所に立地させることのメリットが発生してくる。図6に福山ガス敷設のガス導管分布とそこに立地させるガスタービン発電所の設置位置を示す。6カ所のうちNo. 1の手城地域では海水取り込みが可能な位置であるとして、最も効率の高いコンバインドサイクルガスタービンによる発電を行う。出力は15万KW×3台とする。No. 2の箕島には高圧ガス管が敷設されているので、やや大型の10万KW出力のガスタービン発電機3台を設置する。その他は中圧ガス管敷設なので各ガスタービン出力は5万KW×4～5台とする。それぞれの立地条件は地形や比高などから南海トラフでの発生大地震にも対応可能な地域である。例外としてNo6は比高が低いために、津波の高さを考慮し8mにかさ上げした場所に設置する。排熱による温水を地域に供給すると仮定すると、設置配管の長さやその熱損失を考慮するとサービスエリアは図の楕円範囲となる。

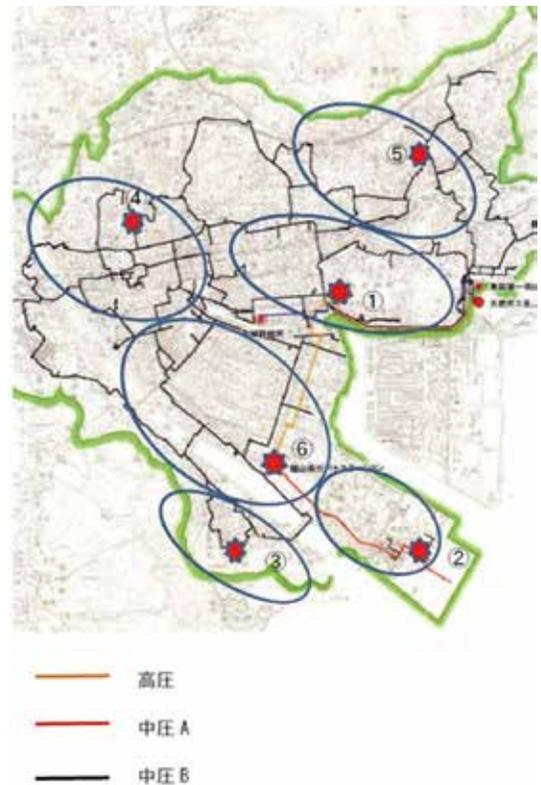


図6 福山市街地のガスタービン式熱電供給網（楕円範囲に熱供給）
（福山ガス供給管網の個別資料に追加・改変）

これで市街地に熱と電気を供給することが可能となる。また万が一ガス導管が損傷し、供給が困難となった場合には各ガスタービン発電所には軽油の地下タンクを設置する。ガスタービンの構造上から、緊急時の燃料として軽油（灯油）を用いることが出来る。それは航空機用のジェットエンジンと同型のガスタービンの特性である。

以上のように、福山市街地に既存の埋設ガス導管に併せて高効率のガスタービンの熱電供給システムを分散的に配置することで、電気と熱を同時に供給出来ることになる。発電所が市街地内にあることで無駄な送電ロスがなく、またLNG利用のため大気を汚染することも無い。さらに災害発生時にガス導管が損傷した場合、備蓄した軽油（灯油）で支え運転が可能である。万が一配置されたシステムが損傷し

でも残存する発電所からの供給を行うことで市街地全体がエネルギー途絶状態を避けることが出来る。無論こうした熱電供給システムの立地では比高や地盤の安定性を考慮しておくことで、万全を期することとする。分散型のエネルギー供給システムは、高効率のガスタービン発電システムとガス導管網によって成立する。これは災害に強い都市のエネルギー供給の基本ともなりうる考え方を示した。

4. 4 水の分散型の供給システム

4. 4. 1 上下水道の分散型の供給システムの考え方

災害時の都市の水道や下水道に関する課題を整理すると以下ようになる。水道における重要課題は、災害発生直後からの飲料水確保、②生活用水の早期確保、③取水原水の安全性確保である。一方、下水道の重要課題では、①水道水源への未処理下水放流対策、②早期の下水処理施設復旧（水道の復旧が早いので未処理放流となる）、③公衆衛生への配慮、である。

上述のような、水道と下水道における重要課題を踏まえて、地震等災害が起こった時に被害が最小で災害復旧の早い新たなシステムをを考えておくことが必要となる。そのような中で、水道と下水道の個別での対策だけでは根本的な解決策とはなり得ない。例えば、水道が3~4週間で復旧し、生活用水が下水に流入したときに下水処理の施設が復旧していなければ無処理で河川や海域に放流せざるを得ない。そのような場合、一部地域では河川から水道水源を取水することができなくなる。また、下水を受け入れないと市街地に下水が溢れ公衆衛生上大きな問題を起こしかねない。このように、水道と下水道は上下水道一体での減災・災害対応が重要となる。この上下水道一体のシステムの考え方の一つとして、エネルギーと同様、従来の広域・大規模集中型ではない新しい分散型水処理システムの提案を行う必要がある。

分散型水処理システムのポイントは、図7に整理したように、水道においては、①浄水施設の分散化と各施設の役割分担の明確化（例えば、災害時飲料水確保施設=災害対策強化施設）、②多元化水利用

水道と下水道一体での減災・災害対応(平常時)



分散型処理システムの検討

水道: 施設の分散化と各施設の役割分担
 ⇒災害時飲料水確保施設(災害対策強化施設)
 多元化水利用システム構築(飲用、生活用水、衛生用水の使い分け、雨水利用等)

下水道: 下水処理の分散化と分別排水
 排水の再利用システム ⇒ 生活用水の確保
 ⇒ 公共水域排水負荷低減

図7 水道と下水道一体での減災・災害対応の考え方

システムの構築（飲用、生活用水、衛生用水の使い分け、雨水利用等）である。下水道においては、①下水処理の分散化と分別排水、②排水の再利用システム（災害時、生活用水の確保、公共水域排水負荷低減）となる。

図8には、分散型水処理システムを検討していく上で必要な技術として膜処理が重要なキー技術になることを示した。膜処理は、コンパクトで小規模での運転に優れており電源の供給のみによって汚濁した水源からでもオンサイトで安全な飲料水を確保できる利点があり、分散型システムに最も適しているといえる。

具体的な水利用システムは、飲料水や炊事、風呂といった直接人に触れる水については、復旧の早い従来の浄水場からの水を利用し、トイレの水等は雨水や下水再利用水とする。下水再利用のための膜処理システムは、MBR（膜分離活性汚泥法）とRO

分散型処理、多元化水利用システム、排水の再利用システム構築に必要な技術



膜処理技術・システムの活用
 (飲用水確保施設・排水再利用施設へ適用
 ⇒上下水処理施設一か所程度災害用に準備)

膜処理技術: 薬品を必要としない
 電気供給のみで処理可能
 安全・確実な処理水確保が可能

→ 今後、モデル都市での多面的検討・構築が必要

図8 システム構築に必要な技術

膜（逆浸透膜）の組み合わせによるシステムが海外では一部実用化されており¹¹⁾，その方法を応用する。

上下水道の配管網も分散型になることで小さな管経で仮設配管も設置しやすく地区内配管網の被害にも対応しやすいこととなる。

4. 4. 2 福山市街地における上下水道の分散型の供給システム

図9は，スモールグリッドの細分提案で分割された福山市街地をベースに各地区に水道施設（飲料水，炊事，風呂水等関係）と下水の循環施設（トイレ水，洗濯水等）を明示したものである。黒い点が水道施設（飲料水・生活用水供給施設）で白い色の点が下水処理（循環）施設の位置を示している。人口分布と標高を同時に標記しているが，図1の青で示した範囲は標高が低く津波の影響を受けやすい地区である。

水道施設（飲料水，炊事，風呂水等関係）は，従来の浄水場（一部復旧した施設）からの水や雨水，

地下水を利用し，その地区内のみを給水できるようにし設置場所は津波や液状化の被害が最も起きにくい場所に設置している。また，下水の循環施設（トイレ水，洗濯水等）はどうしてもその地区内でするだけ標高が低い位置にせざるを得ないが，コンパクトな膜処理装置を利用するため重要な施設は建物の高い位置に配置し施設被害を最小限にとどめる工夫を行う。

以上のように，地区を小さく分割し，その地区の中で水インフラシステム（上下水道）が自立し，下水の循環（外部に下水を排出しない）ができるようにしておくことで，災害時の減災，短期間の復旧が可能であり，福山市民の生活や市街地の衛生管理，瀬戸内海の水質汚染防止に非常に有効な方法になり得る。

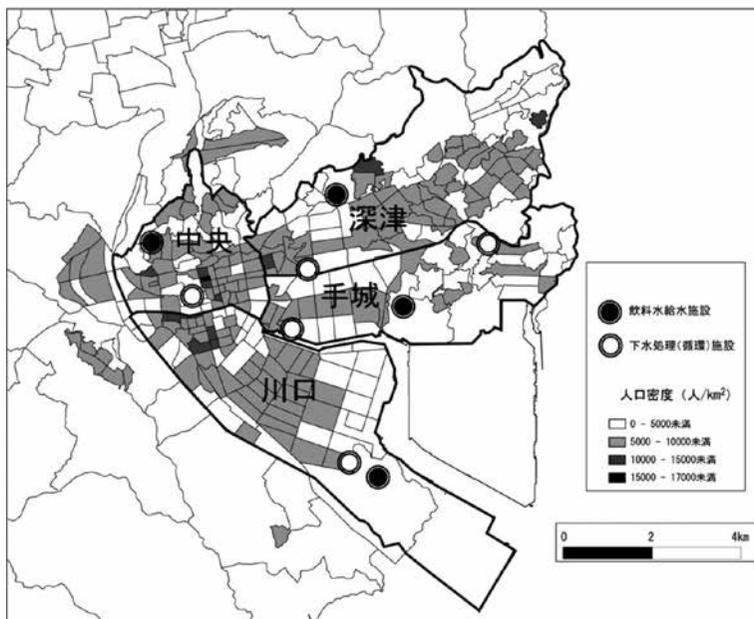


図9 福山市街地の地区割りと各地区の飲料水（生活用水）給水施設と下水処理（循環）施設
（平成22年国勢調査 人口等基本集計のデータに基づき作成）

4. 5 エネルギーと水の統合システムの考え方

4. 5. 1 自立分散型地域づくりの重要性

上述したように、エネルギーと水の地区別で自立した分散型施設の考え方は、トータルの効率の観点でマイナスの側面を持つ。ここで、「自立分散」システムは「集中管理」システムに相対する概念で、全体を統合する中枢機能を持たず、自立的に行動する各要素の相互作用によって全体としてのシステムが機能する。元々、情報科学、特に制御工学の分野で発展した考え方で、インターネットがその典型例である。最近では、自立（自律）分散の考え方は、生命科学、社会学、政治学、経済学など様々な分野に応用されている。特に、我々が注目するのはエネルギーや水の供給システムへの応用である。例えば、現在、火力や水力などの大規模発電所で造られた電力は、そこから張り巡らされた送電線を使って、各家庭で使用される電力が供給されている（系統電力）。一方、太陽光パネルやガスタービンなど、各家庭或いは小規模地域に必要な電力を賄うだけの小さな発電所（分散型電源）を設置し、系統電力と効率的に組み合わせたものが自立分散型エネルギーシステムである。そうすることで、エネルギーを有効に利用できるだけでなく、災害時など系統電力が使用できない場合でも分散型電源により安定に電力を供給することができる。水供給についても、同様のシステムが考えられる。

4. 5. 2 スマートシティの基本的な考え方

最近、自立分散型地域づくりを含んだ、スマートシティと呼ばれる新しい都市のありかたを模索する取り組みがなされている。スマートシティという言葉に統一した定義はないようであるが、一般的にICT（情報通信技術）などの先端技術を用いて社会インフラを効率化・高度化した都市や地域を指し、日本では24、世界では400以上のプロジェクトが進行中である¹²⁾。

特に、東日本大震災の後は、都市にレジリエンス（resilience：災害からの柔軟な復旧能力）が求められるようになった。そのため、特にエネルギー（電力）と水に関しては、ICTを積極的に取り入れなが

ら、次の様な基本的な考え方でレジリエントな都市づくりを行うことで、スマートシティの実現を目指している。

- ①電力使用量の可視化（スマートメーターで把握）
- ②通信機能を備えた機器を使って、電力の需要と供給のモニターと機器のコントロールを行うスマートグリッド（電力の流れを供給側・需要側の両方から制御し、最適化できる次世代送電網）
- ③地域のエネルギー管理システムと大規模ネットワークとの相互接続による地域間連携（新しいインフラに必要となる情報システムの構築に際しては、相互接続性を強く考慮）
- ④水資源の有効活用については、インテリジェントウォーターシステム（日立）などを導入（バックアップ機能や相互融通を含む）

4. 5. 3 群管理と階層構造

自立分散システムをベースにしたスマートシティには、次の様な、群管理と階層構造という特徴がある。

- ①一般世帯向けの水・エネルギー管理：家庭内で最適な水・エネルギー管理を行い、水・エネルギー利用効率化を図る。
- ②事業者向けの水・エネルギー管理：一般世帯同様に、ビル単体で最適な水・エネルギー制御を行い、水・エネルギー利用効率化を図る。また、複数のビルをまとめ、ビル群での最適な水・エネルギー制御も行う。
- ③地域での水・エネルギー管理：既存の供給エリアにおいて、ネットワークの整備を行い、水・エネルギー制御の最適化を行う。
- ④地域水・エネルギー管理システムと大規模ネットワークの相互接続：地域内で給水施設やガスタービン発電設備を持つことで、水やエネルギーを地産地消し、大規模災害にも対応した分散型の地域水・エネルギー管理を実施する。更に複数の地域エネルギー管理システムを連携制御・管理する仕組みを導入し、地域間連携を実施する。

以上のような考え方を、今回のエネルギーと水の分散型統合システムのベースとした。

4. 5. 4 福山市街地への適用の考え方

上述したような他都市のスマートシティの群管理と階層構造の考え方を福山市街地の水・エネルギー供給システムに当てはめることが可能である。

本報告では福山市街地を人口と津波・液状化被害想定をベースに4地区に分けており、まず地区別の水とエネルギーの連関を小さい単位で統合・システム化し地区個別の最適化を図り、さらに同じ考え方で4地区の統合システムの最適化を図る中で今回の群管理と階層構造の適用を新たな考え方として提案できると考えている。詳細なシステム構築は今後のさらなる検討が必要となるが、このような水・エネルギーの地区別及び地区統合システムの最適化は従来の水・エネルギーの広域・集中供給システムの考え方よりも災害時の迅速な対応や通常時の適正化として有効に働く可能性が期待できるものである。

5. おわりに

本報告では、福山市（市街地周辺のみ）をモデル都市としてその災害時の被害予測をベースにエネルギーと水のインフラ施設の在り方についてまとめた。特に、エネルギーと水の分散型施設の適用方法、その統合的システムの適用手法などを既存の情報を踏まえて整理し、インフラ被害の減災が期待できる分散型都市インフラモデルについてその検討結果を示した。

津波や液状化の被害と人口密度などを考慮し福山市街地を4区画に分割し、その地区ごとにLNG（液化天然ガス）を利用したガスタービン式熱電供給システム、膜導入による下水循環利用も組み込んだ多元水利用システムを提示し、それらエネルギーと水の統合・管理システムを導入することでより最適なシステムとして運用できる考え方を示すことができた。

現状のエネルギーや水の都市インフラを簡単に変えることは非常に困難なことであるが、将来必ず発生するであろう東南海・南海地震における減災の在り方として、災害発生時やその後のソフト・ハードの安全対策及び復旧作業の最適化だけでなく、ここ

で提案しているような都市システムの考え方を検討していくことは持続可能な都市づくりとして不可欠なものとする。

謝辞

本研究は、福山市立大学の平成24年度重点研究費「大震災に対応した都市インフラ（ライフライン）の在り方に関する研究」で行ったものである。ここに、記して謝意を表す。

文献

- 1) (公益法人) 日本水道協会 (2011) 平成23年 (2011年) 東日本大震災水道施設被害等現地調査団報告書
- 2) 日本土木学会 (2011) 土木学会東日本大震災被害調査団 (地震工学委員会) 緊急地震被害調査報告書 (暫定版)
- 3) みずほ情報総研株式会社 (2012) 東日本大震災を踏まえた今後のLPガス安定供給の在り方に関する調査, 経済産業省資源エネルギー庁委託事業
- 4) 堤行彦他 (2012) 平成23年度福山市立大学重点研究報告書
- 5) 内閣府 (2012) 「南海トラフの巨大地震モデル検討会」報告書
- 6) 一般社団法人日本ガス協会HP, <http://www.gas.or.jp/user/market/deposits/index.html>より (原典: BP Statistical review of world energy (2011))
- 7) Richard S. Bishop, Rick A. Baggot, Wayne L. Kelley and Robert E. Fargo (2012) US SHALE OIL-GAS PRODUCTION POTENTIAL, *Oil and Gas Journal, Vol. 110, on line edition 5pp.
- 8) 経済産業省 (2013) エネルギー白書 (2013)
- 9) 三菱重工HP, http://www.mhi.co.jp/products/detail/ccpp_mechanism.html
- 10) 電気事業連合会のHP (2011年度データ), http://www.fepec.or.jp/japan//enterprise/jigyousw_index_04/index.html
- 11) 伊藤雅喜編著 (2010) 水循環システムのしくみ, ナツメ社, pp202-205
- 12) 日経BP社ITpro (平成24年9月12日) <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/Keyword/20120906/421044/>

A study on distributed system of energy and water facilities as urban infrastructure —A case study on the damage control for Fukuyama city—

Yukihiko TSUTSUMI, Masami FUKUDA, Hiromu ISHIO, Yuki SAWADA

For urbane disaster by tsunami or liquefier, effective system on energy and water facilities as urbane infrastructure is requested in order to minimize the damages of urbane disaster. In this paper, we suggested the new distributed system of the energy and water facilities based on the integrated system with actual information, and examined Fukuyama (only center city area) as a demonstration city.

As a result, we summarized how to think about a new distributed urbane infrastructure system of the energy and water facilities. This concepts consist of following items that are to divide Fukuyama city area into 4 divisions in consideration for the population density and the damage area by tsunami and liquefier, to install the heat electric supply system with gas turbine using LNG (liquefied natural gas), to introduce the multiple water use system including the sewage reuse system with membrane in each district, and to introduce the integrated control system.

Keywords : energy, water supply and sewerage system, distributed system, damage control, Fukuyama city

