

原 著 論 文

東日本大震災時の災害拠点病院における 燃料ガス運用状況と課題

阿部 喜子¹ 工藤 大介^{1,2} 中川 敦寛^{1,3} 古川 宗¹
越智 小枝⁴ 江川 新一⁵ 冨永 悌二³ 久志本成樹^{1,2}

要旨 目的：東日本大震災時の災害拠点病院における燃料ガス（以下、ガス）の供給と運用の状況を明らかにすることを目的とした。方法：宮城県内災害拠点病院の東日本大震災時の経時記録の解析と書面調査による。結果：都市ガス供給であった9施設中8施設で供給が停止した。プロパンガス供給の3施設では供給が継続された。発災後8～36日目の期間に復旧されているが、施設内設備損壊への対応ではなく、供給エリア内の施設外導管修理や安全確認のため長時間を要した。平時のガスの主要用途は滅菌、空調、厨房であり、供給停止となった施設では、滅菌は電気式への切り替え、重油ボイラー使用、外部委託により対応、空調は燃料の重油への切り替え、厨房は電気調理器やプロパンガス使用への切り替えにより対応していた。結論：多くの災害拠点病院でガス供給が長期停止し、代替手段により対応した。ガス供給停止時に備えて業務継続計画策定が重要であると考えられる。

I. はじめに

2011年3月11日14時46分にマグニチュード9.0の地震と津波等による東日本大震災が発生した。東日本沿岸地域は、主に津波により甚大な被害を受け、宮城県は死亡者9,758人、行方不明者1,289人と最大の被害を受けた¹⁾。都市ガス供給エリア内では、地震発生直後に燃料ガス（以下、ガス）の供給が停止した。仙台市では、発災約2時間後に沿岸部にある製造プラントが津波により損傷し

たため、エリア内全域で長期の供給停止となった²⁾。

1996年に旧厚生省健康政策局より示された災害拠点病院の指定要件では、「水、電気等のライフラインの維持機能を有すること」とあるものの、ガスに対しては明確な記載はされていない³⁾。また、2012年に厚生労働省医政局からの指定要件の改訂では、電気や水に関しては、備蓄量などの具体的な記載が追加されたものの、ガスに関する記載は追加されていない⁴⁾。病院において、ガスはボイラーの燃料として間接的に滅菌や空調に利用され、直接的に、滅菌、空調、厨房、医療機器などに利用されている。このため、災害等により供給が停止となった場合は、診療業務に大きな影響を及ぼすと考えられる。

これまで大災害時の病院における、ガスの供給や運用についての報告はない。本研究は、主要なライフラインの1つであるガスについて、東日本大震災時の宮城県における供給と運用に関連する状況と課題を明らかにし、今後の対応のための方向性を求めることを目的とした。

Fuel gas operation and problems at disaster base hospitals in the wake of the Great East Japan Earthquake

¹ 東北大学病院高度救命救急センター

² 東北大学大学院医学系研究科外科病態学講座救急医学分野

³ 東北大学大学院医学系研究科神経・感覚器病態学講座神経外科学分野

⁴ インペリアルカレッジロンドン公衆衛生大学院

⁵ 東北大学災害科学研究所災害医学研究部門災害医療国際協力学分野

著者連絡先：〒980-8574 宮城県仙台市青葉区星陵町
1-1 東北大学大学院医学系研究科外科
病体学講座救急医学分野

キーワード：災害医療、事業継続計画、燃料ガス

受理日：2014年9月12日／採用日：2015年3月6日

II. 方法

宮城県災害拠点病院および仙台市ガス局を対象として、以下の調査とデータ収集を行った。

①宮城県内の災害拠点病院全14施設に関して

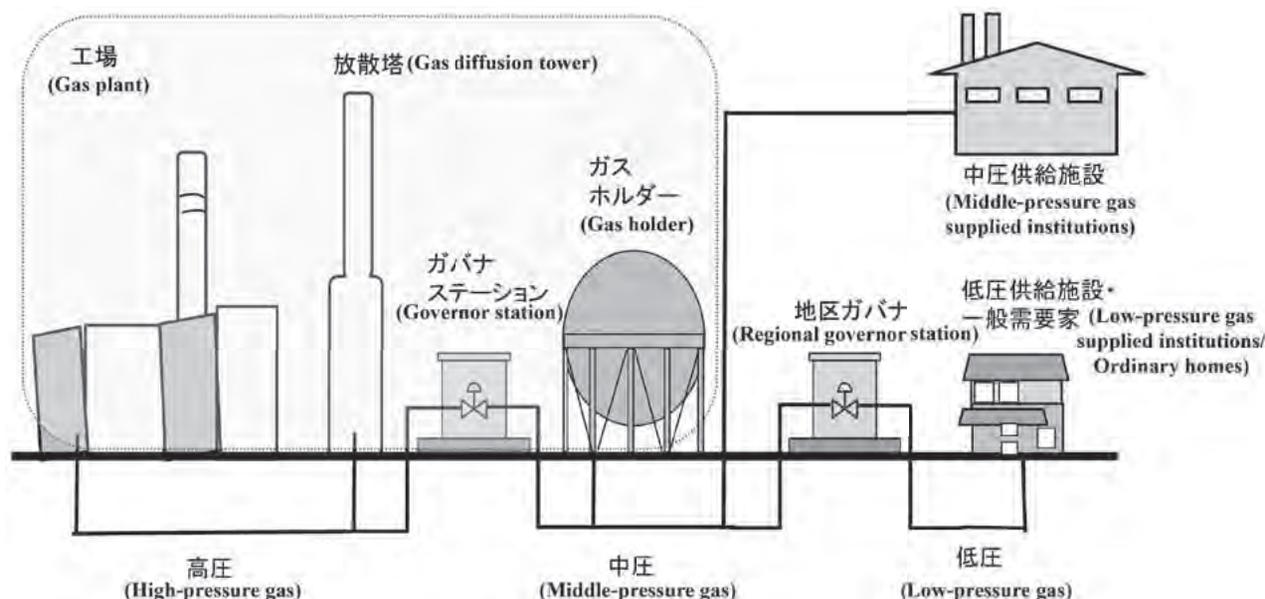


Fig. 1 Ordinary supply of town gas

Fuel gas produced in a plant is supplied through a pressure-resistant injection pipe and gradually decompressed by pressure governors. Middle-pressure gas is supplied to high-demand institutions such as factories and office buildings through a middle pressure-resistant injection pipe. Low-pressure gas is supplied to ordinary homes through a low pressure-resistant injection pipe.

Governor station: Fuel gas is decompressed in the governor station, Gas diffusion tower: Gas is emergently released from gas diffusion tower if gas pressure in the gas pipe abnormally increases. (Figure provided by Gas Bureau, City of Sendai)

は、災害時の経時記録（イベントクロノロジー）の解析および各施設に対する書面による調査により、ガスの供給と運用に関連する損傷、復旧状況、滅菌、空調および患者食の対応状況などを調査した。

- ②仙台市ガス局に対してはヒアリングを行い、震災発生直後からの対応と復旧過程、災害対策などを調査した。

〈ガスの導管について〉

工場で製造されたガスは、工場を出た時点では輸送圧力の高い高圧管で供給され、順次、整圧器で減圧される。工業用やビル暖房用などでガスを大量に使用する場合は、中圧管により中圧ガスが供給され、家庭用などでは低圧管で低圧ガスが供給される (Fig.1)。

Ⅲ. 結果

全14施設から回答を得た。

1. 災害拠点病院におけるガスの供給と再開状況

オール電化が2施設あり、平時にガス供給を受けていたのは12施設であった。都市ガスの供給を受けていた9施設中、ガス供給停止となったのは、仙台市ガス局管轄の6施設と被害が大きかった沿岸部の2施設の計8施設（66.7%）であった

(Table 1)。プロパンガスの供給であった3施設は全て供給が継続された。都市ガス使用で供給が停止されなかった1施設は内陸の都市にあり、導管の損傷はなく、天然ガスの備蓄があり、さらに関東地方からの天然ガス運送により供給が継続された。施設内のガス設備の損壊があったのは12施設中1施設のみ、かつ軽微な損壊のみであった。

供給再開は、仙台市ガス局管轄の6施設においては、中圧ガスは最短で発災8日目（3月18日）、最長で14日目（3月24日）、低圧ガスは最短20日目（3月30日）、最長36日目（4月15日）であり、管轄内の導管の修理や安全確認のために復旧に時間を要した。沿岸部の2施設はともに31日目（4月10日）の供給再開であった。

2. 災害拠点病院におけるガス運用に関する状況

平時のガスの主要な用途は、ボイラー（滅菌と空調）、空調、厨房であり、ガス供給停止となった8施設ではこれらの機能が停止した。8施設のうち6施設から対応に関する回答を得た。滅菌は、電気式への切り替え、重油ボイラーの使用、外部委託などで対応した。空調に関しては、2施設は燃料を重油に切り替えて対応した。厨房に関しては、5施設で電気調理器やプロパンガス使用に切り替えた。

Table 1 Fuel gas supply, operation and measures for supply stoppage at disaster base hospitals in Miyagi Prefecture during the period of the Great East Japan Earthquake

医療機関	病院所在地	ガスの種類	供給圧力	ガス使用用途	ガス供給停止	ガス設備の損壊	復旧日	滅菌に対する対応	空調に対する対応	厨房に対する対応
A	仙台市内	都市ガス	中圧	医療用・空調用	あり	なし	8日目 (3/18)	電気切り替え式機器, 外部への委託, 用手洗浄	電気ストーブ・毛布	非常食, 電気調理器具使用
			低圧	厨房機器・空調機器・医療機器			27日目 (4/6)			
B	仙台市内	都市ガス	中圧	医療用・空調用	あり	なし	13日目 (3/23)	外部委託		非常食, 電気調理器具, プロパンガス設置
			低圧	厨房機器・空調機器・医療機器			33日目 (4/12)			
C	仙台市内	都市ガス	中圧	医療用・空調用	あり	敷地内中圧管・低圧管・ガバナーに軽微な損壊あり	14日目 (3/24)	重油ボイラーで対応	重油ボイラーで対応	非常食, 電気調理器具使用
			低圧	厨房機器・空調機器・医療機器			36日目 (4/15)			
D	仙台市内	都市ガス	中圧	医療用・空調用	あり	不明	14日目 (3/24)	電気式滅菌器で対応	重油へ切り替えて運用	
			低圧	厨房機器・医療機器			24日目 (4/3)			
E	仙台市内	都市ガス	低圧	厨房機器・医療機器	あり	なし	23日目 (4/2)			
F	仙台市内	都市ガス	中圧	医療用・空調用	あり	なし	供給継続			
			低圧	厨房機器・空調機器・医療 (研究)			20日目 (3/30)			
G	沿岸部	都市ガス	中圧	厨房機器・空調機器	あり	なし	31日 (4/10)	フラッシュ滅菌, プラズマ滅菌で対応	空冷チラーによる暖房供給, 夜間は病棟, 日中は限定部署	非常食, 電気調理器使用
H	沿岸部	都市ガス	低圧	厨房機器	あり	なし	31日 (4/10)			プロパンガス変換機設置
I	仙台市外内陸部	都市ガス	中間圧	厨房機器・空調機器・医療機器	なし	なし	2日目 (3/12)			
J	仙台市外内陸部	プロパンガス		厨房機器	なし	なし				
K	仙台市外内陸部	プロパンガス		厨房機器・空調機器	なし	なし				
M	仙台市外内陸部	プロパンガス		厨房機器	なし	なし				

Twelve hospitals to which gas had been supplied are shown. Blank cells indicate no response.

IV. 考察—重要業務継続の観点から事前対策の検討

本研究により、東日本大震災時のガス供給と運用の状況と課題について以下のことが明らかとなった。

- ①都市ガスのみ供給を受けていた災害拠点病院は、ほとんどの施設（9施設中8施設）でガス供給停止となった。
- ②施設内配管の大きな損壊を受けた施設は少なく、ガス局の供給体制や管轄地域内の導管損傷が復旧の主たる規定要因であった。
- ③ガス供給再開には中圧ガスで1週間以上、低圧ガスでは20日以上を要した。

災害拠点病院が災害時にも業務を継続するために必要な事前の対応として、最小限の投資、想定と綿密な計画の立案、地域内でのリソースの再分配の3点から、災害時のガス供給と供給停止について考察した。

1. 病院に求められる最小限の投資 (minimum investment)

1) 都市ガスとプロパンガスの併用

一般に、地域のガス局が都市ガスを供給している地域では、災害拠点病院も都市ガスを利用することが多い。平時であれば、都市ガスはプロパンガスと比較して、従量料金が安く、敷地内にポンペを置く必要がないなどのメリットがある。プロパンガスは院内のみの導管であり、災害時には、敷地外を含む広範囲の導管がある都市ガスと比較して影響を受けにくいと考えられる。さらにプロパンガスは病院独自に備蓄を確保しておくことも可能である。都市ガス依存の病院に関しては、都市ガス供給が停止した時の代替手段として、プロパンガスも使えるシステムを準備しておくことが対策として考えられる。

2) 施設内整圧器の設置

本震災での仙台市ガス局エリア内供給停止は、供給源である製造プラントの被災が最大の要因であった。再開通は配管により規定され、中圧管が先行し、その後低圧管の順であった (Fig. 2)。中圧管は病院に直接接続されており、比較的復旧は早かったが、低圧管は一般の住宅などと並列の関係にあるため、同一整圧器以下の全配管の安全確認が終了しないと供給を再開できず、低圧ガスの供給再開は大幅に遅れた。施設内に整圧器を設ければ、中圧ガスから独自に低圧ガスへの整圧が可能になり、中圧ガス供給開始と同時に低圧ガスも病院内に供給できるようになる (Fig. 3)。

3) 燃料、動力源の多重化

平時は中圧ガスによりボイラーを稼働していた施設が多かったが、震災後早期にボイラーを重油対応に変換することにより早期の運転再開をした施設があった。ボイラーにはガス・重油兼用のものもあり、多重化を図ることは業務中断のリスク軽減に有用であると考えられる。滅菌に関しては、多くの施設において高圧蒸気滅菌が主力となっているが、電気式の滅菌器は熱効率、費用対効果の問題があるものの、エネルギー源の多重化の観点から一部導入は業務中断のリスク軽減に有効であるものと考えられる。投資の面からは備えは最小限にすべきであるが、手術器具常備セット数の増数は大規模投資とはならず、緊急時の滅菌工程遅延を考慮した手術器具等の常備数について検討する必要があるものと思われる。厨房機能に関しても、電気調理器具、プロパンガスといった代替エネルギー源の使用、あるいは都市ガス対応の調理器にプロパンガス変換機を取り付けることにより対応していた事例があり、このような多重化を検討するべきであると考えられる。

2. 病院に求められる想定と綿密な計画の立案 (meticulous planning)

災害拠点病院においては、ガス供給の迅速な再開が望ましいものの、実際には復旧までに一定の時間を要することは避けられない。中圧ガスの再開が先行するが、平時の用途や部署ごとのガス使用量を把握しておき、重要業務継続の観点から災害時ガスの使用の優先順位を決めておくことが重要である。滅菌に関しては、緊急時滅菌の優先順位を明確にし、可能な器具に関しては手洗い洗浄などの可及的な代替手段で対応する計画を立てておくとともに、平時より他の医療機関や業者との協定の締結、ネットワークの構築が必要である。空調に関しては、部署ごとの優先順位を決めておき、季節と時間帯別に計画を立てておくのが望ましいと考えられる。ガスの供給停止による厨房機能の停止、あるいは停止せざるを得ない場合も考慮し、3日分は非常用患者食を備蓄しておくことが望ましい⁴⁾。また、非常食が枯渇した際の病院食の確保については、平常時に業者や関連団体などと協定の締結やネットワークを構築しておくべきであり、職員用非常食の準備も必要である。

3. 地域内でのリソースの再分配 (resource allocation)

本震災の急性期において、滅菌や滅菌済みの医療器材を医療圏内外の医療機関や業者からの支援

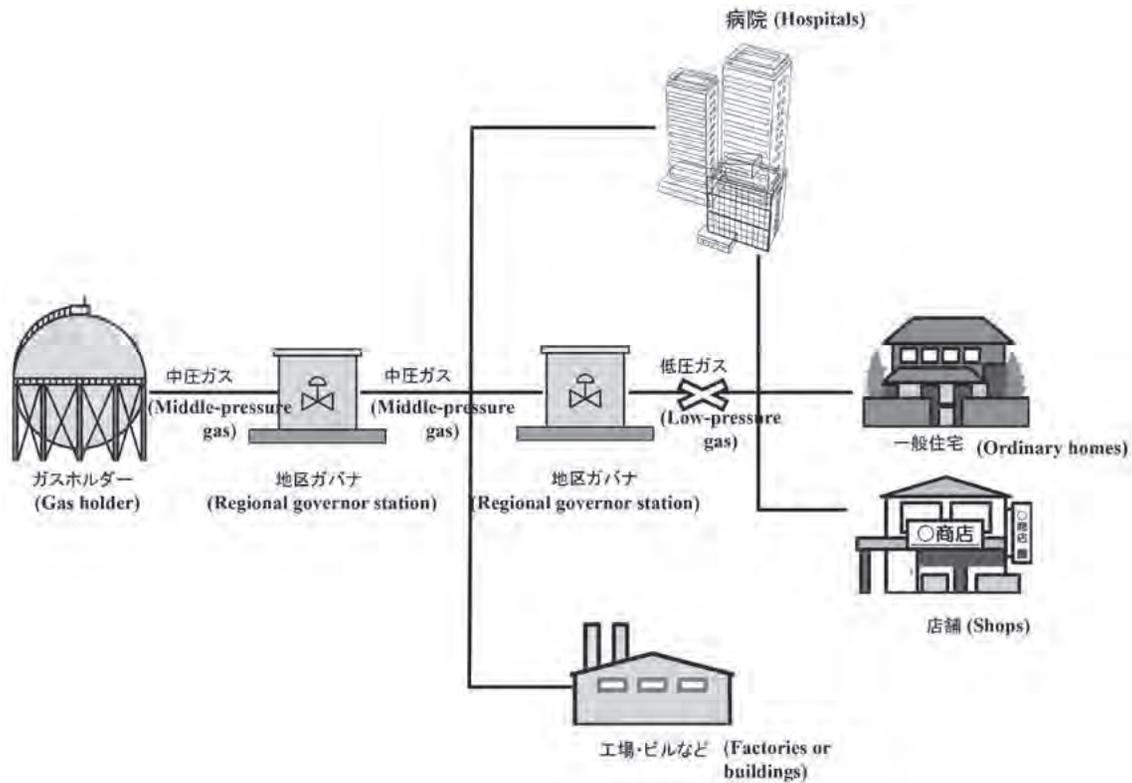


Fig. 2 Distribution of the middle and low pressure-resistant injection pipes in Sendai at the time of the Great East Japan Earthquake

The middle pressure-resistant injection pipe was directly connected to hospitals and the low pressure-resistant injection pipe was located in parallel. For that reason, the low-pressure gas supply was not resumed until the safety checks for all pipes downstream from a pressure governor were completed. (Figure provided by Gas Bureau, City of Sendai)

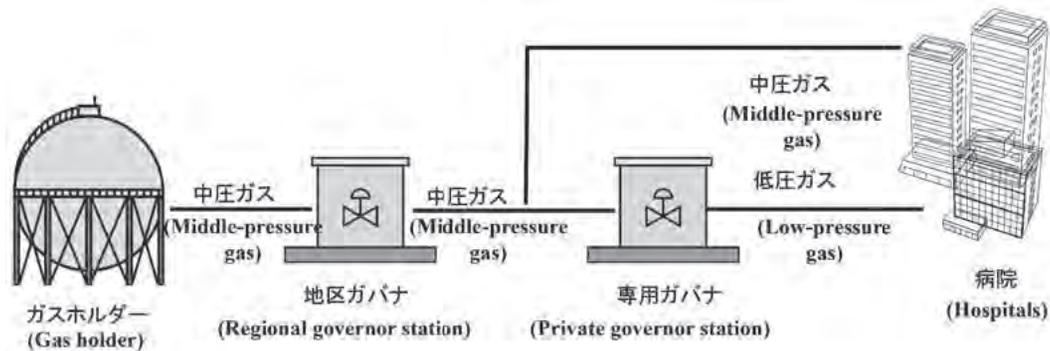


Fig. 3 Planned distribution of the middle and low pressure-resistant injection pipes after the Great East Japan Earthquake

If the pressure governor is located on-site at a hospital, it is possible to decompress gas pressure independently and supply low-pressure gas to a hospital simultaneously with resumption of the middle-pressure gas supply from the gas plant. (Figure provided by Gas Bureau, City of Sendai)

により対応した施設があった。平時より医療圏を越える医療機関や業者との連携体制の構築が必要であることを示唆するものである。

災害時にも、確実にガス供給が行われるような産業界における技術的革新（イノベーション）が望まれるが、近い将来におけるイノベーションの

期待は困難であることがガス局へのヒアリングにより示されており、上記1. から3. が主な対応策であると考えられる。

このように重要業務の継続・早期復旧を可能とするため、緊急時における業務継続のための方法を取り決めておく計画として事業継続計画（business continuity plan；BCP）が注目されている⁵⁾。

最近では医療の世界でも徐々に注目され^{6)~9)}、平成25年9月には厚生労働省医政局から、「業務継続計画(BCP)の作成に努めるよう」通知があり、同時に「BCPの考え方に基づいた病院災害対応計画作成の手引き」が公表された¹⁰⁾。災害時に不可欠なライフラインはガスのみではなく、電力、水、通信手段、食料など多数ある。災害拠点病院が災害時に業務を継続するための、ライフラインや医療資源などに対する包括的、かつ具体的な事前の計画としてのBCPは今後一層重要性を増すものと考えられる¹¹⁾。

V. おわりに

東日本大震災における宮城県内の災害拠点病院14施設におけるクロノロジー分析と調査、および仙台市ガス局へのヒアリングにより、多くの施設でガス供給が長期に停止し、各施設で工夫して対応していたことを明らかにした。病院が行うべき最小限の投資、地域のリソースを考慮し、ガス供給停止を前提とした綿密な計画立案と、災害拠点病院の業務継続の観点からの対策が求められる。

謝 辞

本研究で行ったクロノロジー解析においてご協力を頂いた仙台市ガス局、宮城県災害拠点病院14施設(独立行政法人国立病院機構仙台医療センター、公立刈田総合病院、みやぎ県南中核病院、仙台市立病院、東北大学病院、仙台赤十字病院、独立行政法人労働者健康福祉機構東北労災病院、東北厚生年金病院、公益財団法人宮城厚生協会坂総合病院、大崎市民病院、栗原市立栗原中央病院、登米市立登米市民病院、石巻赤十字病院、気仙沼市立病院)、Anna Caballero長官、Richard McCarthy氏以下、カリフォルニア州地震安全委員会関係諸氏、在サンフランシスコ日本国総領事館の関係諸氏に厚く御礼申し上げます。また、貴重なコメントをいただいた東北大学病院施設企画室 小林正幸施設企画室長、John Brown先生(San Francisco市保健局)、Jeffrey Tabas教授、Geoffrey Manley教授、Alisa Gean教授、Mary Vassar氏(University of California, San Francisco)、Richard Aghababian先生(Past President, Massachusetts Medical Society)、Mike VanRooyen教授、Stephanie Kayden先生、Barry Wanted氏(Harvard University, Brigham and Women's Hospital)、Eric Weiss先生(Stanford University)、ならびに東北大学病院脳神経外科リサーチアドミニストレーター 岡野弥生氏をはじめ多く

の方々感謝申し上げます。

本研究は文部科学省科学研究費挑戦的萌芽研究(課題番号24659794)、東北大学災害科学国際研究所特定プロジェクト研究(共同研究)(研究種目A)、平成25年度地域新成長産業創出促進事業(先進医療機器開発等産学連携プロジェクト事業)における「研究会」事業、三井生命厚生事業団、大和証券ヘルス財団、高橋産業経済財団、先進医薬研究振興財団被災地支援研究助成、全国共済農業協同組合連合会、丸茂救急医学研究振興基金の支援を受けた。震災に関する研究・教育活動への支援を頂いたManoa DNA(代表Lloyd Kawakami氏)、横川隆哉氏、Japanese Cultural and Community Center of Northern California(JCCCN)に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 宮城県：東日本大震災における被害等状況。2014年7月10日。
<http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/265232.pdf> (Accessed 8.10, 2014)
- 2) 中川敦寛, 古川宗, 工藤大介, 他：災害拠点病院の事業継続の見地からみたエレベーターの現状と課題—東日本大震災宮城県下災害拠点病院調査。日本集団災害医学会誌 2013; 18: 9-17.
- 3) 厚生労働省：災害拠点病院の指定について。
<http://www1.mhlw.go.jp/houdou/0901/h0116-3.html> (Accessed 8.10, 2014)
- 4) 厚生労働省：災害医療等のあり方に関する検討会報告書。2011年10月。
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001tf5g-att/2r9852000001tf6x.pdf> (Accessed 8.10, 2014)
- 5) 中小企業庁：中小企業BCP策定運用指針。
http://www.chusho.meti.go.jp/bcp/contents/level_a/bcpgl_01_1.html (Accessed 8.10, 2014)
- 6) Roberts P, Molyneux H: Implementing business continuity effectively within the UK National Health Service. J Bus Contin Emer Plan 2010; 4: 352-9
- 7) 佐々木勝：病院の災害時のBCP (business continuity plan). Mod Physician 2012; 32: 641-53.
- 8) 大原達美, 成清哲也, 松村一：BCPマニュアルの見直し—部門システムを含めたBCP策定の必要性。医療情報学 2010; 30: 233-9.
- 9) 油谷康文, 中谷光宏：災害に強いBCP/LCP病院の設備計画。病院設備 2012; 54: 52-7.
- 10) 石川県：BCPの考え方に基づいた病院災害対応計画作成の手引き。2013年3月。
<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/iryoku/documents/bpctebiki.pdf> (Accessed 8.10, 2014)

11) Kudo D, Furukawa H, Nakagawa A, et al: Resources for business continuity in disaster-based hospitals in the great East Japan earthquake: survey of Miyagi Prefecture disas-

ter base hospitals and the prefectural disaster medicine headquarters. Disaster Med Public Health Prep 2013; 7: 461-6.

Abstract

Fuel gas operation and problems at disaster base hospitals in the wake of the Great East Japan Earthquake

Yoshiko Abe¹, Daisuke Kudo^{1,2}, Atsuhiko Nakagawa^{1,3}, Hajime Furukawa¹, Sae Ochi⁴, Shinichi Egawa⁵, Teiji Tominaga³, Shigeki Kushimoto^{1,2}

¹Department of Emergency and Critical Care Medicine/Emergency Center, Tohoku University Hospital

²Division of Emergency and Critical Care Medicine, Tohoku University Graduate School of Medicine

³Department of Neurosurgery, Tohoku University Graduate School of Medicine

⁴Department of Public Health, Imperial College London

⁵International Cooperation for Disaster Medicine, Disaster Medical Science Division, International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

Introduction: The aim of this study was to clarify the fuel gas supply and the state of gas resource operations at disaster base hospitals in Miyagi Prefecture after the Great East Japan Earthquake in order to identify issues concerning the operational continuity of hospitals in the event of a disaster.

Methods: In addition to interviews and written questionnaire surveys at 14 disaster base hospitals in Miyagi Prefecture, several key elements relating to fuel gas supply and the operation of fuel gas resources were identified from the chronological record of events following the Great East Japan Earthquake.

Results: Eight of nine hospitals where town gas had been supplied experienced stoppage of their fuel gas supplies, with service recovery time ranging from 8 to 36 days. Service recovery was delayed not by damage to the gas supply facilities at hospital sites, but by the gas bureau spending too much time securing and repairing the gas supply facilities within their jurisdiction. Three hospitals where liquefied petroleum gas had been supplied did not experience supply stoppage. The main uses for fuel gas at the hospitals were sterilization, air conditioning, and cooking, and these functions were disrupted in hospitals that experienced supply stoppage. Six of eight hospitals where the fuel gas supply was stopped reported measures for dealing with the stoppage. These measures included switching machines to electric power, using a heavy oil power boiler, and outsourcing the sterilization.

Conclusion: The present survey showed that most of the disaster base hospitals in Miyagi Prefecture experienced long-term interruption to their fuel gas supply and managed the stoppage with alternative means during the period after the great East Japan Earthquake. It is important for disaster base hospitals to develop business continuity plans in preparation for long-term interruption of fuel gas services.

Key words: disaster medicine, business continuity plan, fuel gas