

超高密度地震防災システム(SUPREME)の開発

清水善久¹・小金丸健一¹・中山渉¹・山崎文雄²

¹正会員 工修 東京ガス株式会社 防災・供給センター (〒105-8527 東京都港区海岸 1-5-20)

²正会員 工博 東京大学助教授 生産技術研究所 (〒106-8558 東京都港区六本木 7-22-1)

東京ガス(株)では、甚大な被害をもたらした阪神・淡路大震災の教訓を活かして、都市ガスの緊急措置レベルの向上を図るため、1998年1月より約3,100km²の供給エリアにおいて約3,700基の新SIセンサーと地区ガバナ遠隔監視・制御システムを配備した世界一超高密度なリアルタイム防災システム(SUPREME)の開発を開始し、2001年夏より稼働を開始する。SUPREMEでは地震発生後ほぼリアルタイムに地震動・液状化やシステム稼働状況等のデータ収集を行い、被害推定・検知やシステム制御等を行うことにより二次災害発生の危険度を大幅に低減させるものである。またSUPREMEで今後得られる超高密度地震動計測データはゾーニング等事前防災の検討に多に役立つものと考えられる。

Key Word : City gas network, New SI Sensor, Seismic monitoring, Damage assesment, Earthquake, Damage mitigation, Supply shut-off, SUPREME

1. はじめに

1995年の阪神・淡路大震災以降、多くの機関で高密度地震動モニタリングシステムの構築やリアルタイム被害推定システムの整備が実施されている。東京ガスでは既に332局の地震計を用いたリアルタイム被害推定システム“SIGNAL”¹⁾を運用しているが、今後の防災レベルのより一層の向上を図るため、それに加えて1998年1月より供給区域、約3,100km²に対して約3,700基の地震計(新SIセンサー)²⁾を設置しモニタリングする世界一超高密度な地震防災システム -Super-dense Realtime Monitoring of Earthquakes- (SUPREME)の構築を開始した。図1に新SIセンサー全数設置後のセンサー配置図を示す。

このシステムは、地震時に迅速に情報収集するために新たに開発された防災テレメータ装置(DCX)を利用して地震発生に際してほぼリアルタイムに地震動強さ(SI値、加速度)や液状化発生に関するデータを収集し、それらをあらかじめ防災GIS上に50m×50mの大きさの140万個のメッシュに対して整備された地盤増幅特性や液状化層厚推定情報、導管情報等のデータベースと組み合わせて高精度に地震動空間補間、液状化空間補間を行い被害推定を実施する。また、低圧導管網からの漏洩ガスによる二次災害を防止するための地区ガバナの感震遮断状況を監視し、必要場合は遠隔で遮断す

る等の制御を実施することで災害の軽減を狙い、防災レベルを向上させるものである。本稿では2001年夏に稼働を開始するこのシステムの迅速情報収集、遠隔遮断技術を中心に詳しく述べることとする。

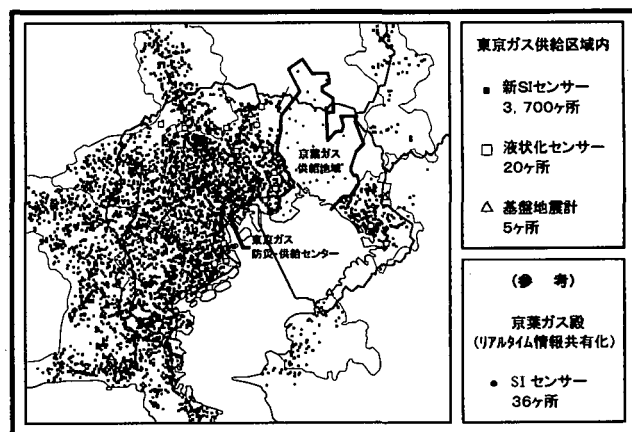


図1 SUPREME/地震センサー配置図

2. SUPREMEの構成

SUPREMEの構成を図2に示す。現在、東京ガスでは、従来の地区ガバナSI遮断センサーの更新の機会を利用して新SIセンサー、地区ガバナ遠隔監視用防災テレ

メータ装置(以下防災 DCX と略す)を約 3,700 個の地区ガバナ(ガスの圧力を 2Kpa 程度の低圧に制御する機器)に設置中であり、これらの機器と指令センターを通信で結ぶことにより、約 3,100km²の供給区域の約 3,700 点(0.9km²に1個)でのSI値、PGA、圧力、ガバナ遮断、液状化警報状況等の観測および指令センターからの遠隔監視・制御が可能となる。

SUPREME はこれまでのリアルタイム地震防災システム SIGNAL を包含して拡張したシステムである。例えば 3,700 個ある地区ガバナ等の地震時の情報のうち、SI 値・加速度については 332 局は自営無線と一般回線、その他の約 3,400 局はNTT等の一般回線のみを使用して送信される仕組みになっている。また、液状化警報については、20 ヶ所の液状化センサー³⁾と 300 局の新SIセンサーからの警報は自営無線と一般回線、その他約 3,400 局は一般回線で送られる。地震時の通信の信頼性を考慮すれば、全ての情報を自営無線で送信することが望ましいが、コスト面で実現性が乏しい。そこで無線と一般回線を併用することとし、一般回線では必要な情報の8割収集を目指した。まずNTT等との折衝の結果、個々の地区ガバナー一般回線は災害優先指定回線とし、地震時の通信の輻輳に対処している。また、より迅速に情報送信を行うために後述する防災 DCX を開発して 3,700 地点全ての地区ガバナに設置している。SUPREME における新SIセンサーの設置計画は 2001 年 3 月末に 1,300 基、2002 年 3 月までに 1,800 基となっており、最終的には 3,700 基の設置が完了するのは 2007 年の予定である。ホストシステムは 2001 年 7 月に完成するため、これまでにない超高密度リアルタイム地震防災システムが稼働開始することとなる。表 1 に SUPREME で観測するデータ一覧を示す。

表 1 SUPREME 観測データ(2001 年夏現在)

データ	自営無線	NTT等一般回線
SI値・加速度	332 (地区ガバナ 300 ヶ所 +その他 32 ヶ所)	1,300:新SI設置数 (2007 年に約 3,700 ヶ所)
液状化警報	20 (液状化センサー設置箇所) 300 (地区ガバナ 300 ヶ所)	1,300:新SI設置数 (2007 年に約 3,700 ヶ所)
地区ガバナ情報 (圧力、流量、遮断状況等)	300(地区ガバナ地点)	3,700 (全地区ガバナ)

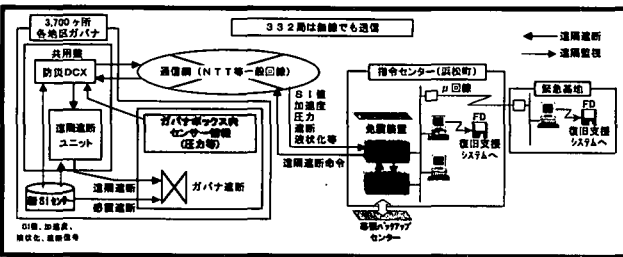


図 2 新リアルタイム防災システム(SUPREME)の構成

3. SUPREMEによる地震時迅速情報収集

(1) 概要

東京ガスでは、遠隔監視装置(DCX200)⁴⁾を、通常時の圧力管理業務を目的として1994年より全地区ガバナへの設置を行ってきた。地区ガバナのうち設置の困難な個所を除けば2000年度中に3,700ヶ所全数に設置され、全地区ガバナの圧力センサー等のガバナ情報や保安管理情報の把握が可能となってきた。

この遠隔監視装置からの情報を地震時にも用いる事が SUPREME の構築の重要なポイントである。地震時だけで使うシステムは非効率的であるばかりか、通常時操作を行わないために地震時に的確に操作される確率は低くなる。通常時も使用されていれば、メンテナンスも行き届いているばかりか操作も習熟されていて、地震時に不安を残さない。しかし、現在の DCX200 を地震時に用いるには、“大地震時に多発する警報収集に時間がかかる”といった課題があり、これを解決するべく、「通常時の警報収集機能に支障をきたさない」という条件で地震時迅速情報収集機能を強化しソフトウェアを改良した「防災 DCX」を開発した。新機能の開発の結果、たとえば阪神・淡路大震災規模の地震規模かつ電話の輻輳条件で、25 分以内に必要な地震情報の8割を収集することが可能となり、地区ガバナの監視・遠隔遮断、高精度被害推定をSUPREMEで実現することが可能となった。防災 DCX は 1999 年度に開発を完了し、2001 年 3 月までに地区ガバナ全数に設置を完了している。

(2) 迅速収集機能の効果(阪神・淡路大震災規模の地震想定)

阪神・淡路大震災規模(M7.2)の地震が東京ガス供給エリア内で発生した想定(1,000 個の地区ガバナでの地震自動遮断を想定)で、そのうち 80%の地震情報を 30 分以内に収集することを目標として防災 DCX を開発し、その機能確認のため以下の現場迅速収集フィールドテストと、シミュレーションを実施した。

a) 現場迅速収集機能確認フィールドテスト及びシミュレーション

実回線を用いて実際の地区ガバナ 10 ヶ所全てから 2 警報を発呼させ受信回線 1 回線の 1 つのホストで収集する実験をおこなった。また、これと同条件でのエミュレータを用いた室内実験、およびコンピューターシミュレーションを実施し 8 割(8 ヶ所)の情報収集時間の比較を行った。表 2 に示すように従来の DCX200 では 9.45～9.78sec、防災 DCX では 5.25～5.87sec とわずかな誤差の範囲内でそれぞれのテストの結果が一致することが確認できた。この結果、防災 DCX の迅速情報収集機能及びシミュレーション精度が確認できた。

よって1,000 ガバナから警報発生する状況をシミュレーション、防災 DCX 装備時の情報収集時間を推定することとした。

b) 阪神・淡路大震災を想定したシミュレーション

上記の結果を踏まえて1,000 ガバナでのシミュレーションを実施した。シミュレーション条件は(a)阪神・淡路大震災の一般回線の最大輻輳率と報告されている50倍の輻輳(50 回に1 回電話が通じる)⁵⁾、(b)全社 40 の受信用モデム数、(c)7 警報(発生しうる最大数)を想定した。その結果、従来警報収集に数時間かかったものが、25 分で収集できることが確認できた。(表 3)

実際には 3,700 ヶある地区ガバナ全ての一般回線は災害優先電話の指定を受けるため、阪神・淡路大震災の際の公衆電話と同程度の輻輳になると考えられ、今回のシミュレーションは、かなり安全サイドの検討となっている。

表 2 フィールドテストと室内テスト、シミュレーションの比較

	フィールドテスト	室内テスト	シミュレーション
防災 DCX	5.87	5.25	5.70
従来 DCX	実施せず	9.78	9.45

表 3 1,000 ガバナ情報の 80%収集時間シミュレーション結果(単位:分)

	輻輳 50 倍	20 倍	なし
既存システム	250 以上	116.5	84.36
防災 DCX を利用した SUPREME	25.06	16.82	14.99

4. SUPREME による地震時地区ガバナ遠隔遮断技術

(1) 背景

都市ガスの低圧供給網が阪神・淡路大震災で大きな被害を受けたが⁶⁾、東京首都圏エリアでも大地震が発生した際は同様の事象が起こると考えている。都市ガス漏洩による二次災害防止のためには、即時にガス供給を停止しなければならない。このため、これまで我々は地区ガバナに感震自動遮断装置を取り付けてきた。しかし、現実的には地震時の低圧供給網の供給停止は低圧ブロック毎に行われ、そのブロックの全ての地区ガバナを閉止しなければ実現できない。しかし地盤条件の違いなどにより地震動は大きく変わるため、供給停止条件を満たしたブロック内の全ての地区ガバナが感震遮断をするとは限らない。また、新 SI センサーの機器故障があれば、そのガバナは当然感震遮断しない。そのため地震後供給停止を行うブロックについてはガバナの停止巡回を行う必要があり、供給停止には時間・人手がかかる。また中圧導管網は高い耐震性を保持しており、地震時に被害の多い低圧導管を健全中圧導管網から迅速に切り離すことは中圧の供給継続及び復旧時の時間の短縮のために非常に重要である。SUPREME により地区

ガバナを遠隔遮断することができればこの課題を克服できるが、無線を用いることはコスト面で不可能でありまた一般回線を用いる遠隔遮断に対しては信頼性(機器故障・ハッカー等)の確保が課題となっていた。

(2) 対策

今回、一般回線を用いて遠隔遮断を行う際に誤遮断に対する信頼性を向上させるため“遠隔遮断ユニット(以下 TC ユニット)”を開発し、SUPREME から遠隔で一般回線を用いてガバナを遮断できるようにした。また、地震時以外に地区ガバナを遠隔遮断するニーズが 100 年以上にわたるガス供給の歴史の中でも全くないため、TC ユニットによる遠隔遮断は、地震時のみ実行可能な機能とし、新 SI センサーと機械式感震器の双方のデータから TC ユニットで地震の有無を判断することとした。また誤操作や機器故障・ハッカーの侵入による誤遮断を防止するため、防災 DCX で通信チェック及び TC ユニットで遮断命令の正誤判断を行い充分な信頼性を確保することとした。遠隔遮断の実施結果は即ホストにフィードバックされる。

(3) 遠隔遮断の効果

地区ガバナ遠隔遮断を行うことにより人員を地区ガバナに巡回させることなく供給停止を極めて短時間で実施できるため、被害箇所からのガス漏洩を大幅に減少でき二次災害の発生を最小限に抑えることが可能となる。ここでは阪神・淡路大震災のデータに基づいて東京地区でシミュレーションを実施し、遠隔遮断技術を導入することで、どの程度危険度が低下できるかを検証した。

危険度を「供給停止すべき地域(SI値が高く供給停止基準に適した地域)における開ガバナ数と地震発災後の経過時間の積」と定義する。図 3 に示されたシミュレーションでは供給停止すべき地域に 1,300 基の地区ガバナが存在し、現状の感震自動遮断システムではそのうち 850 基が感震自動遮断するが 350 基が遮断しないままの状況として残ることになる。これを参集した人員で地区ガバナの停止巡回を実施すれば約 39 時間かかる。これが遠隔遮断を用いれば1時間以内に通信の断線した箇所等を除いてほぼ全ての地区ガバナの閉止が完了するため表 4 に示すように危険度は 97%削減され、大幅な地震防災レベルの向上が図れる事がわかる。なお、ここでは激震地区の一般回線の断線率を阪神・淡路大震災を参考として 5%としている。

表 4 危険度シミュレーション結果

	供給停止完了時間	危険度比
現状(感震遮断のみ)	39 時間	1.0
遠隔遮断(遠隔監視含む)	1 時間	0.03

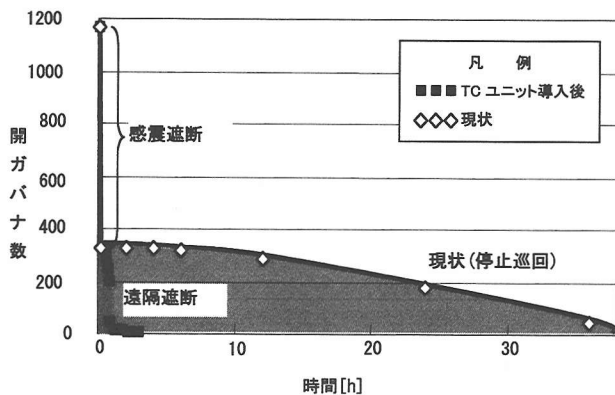


図3 供給停止地区内開ガバナ数の推移

5. SUPREMEで実現されるその他の機能

(1) 高密度中圧漏洩検知機能

都市ガスの中圧(設計圧力 0.1MPa 以上 1MPa 未満)供給施設は低圧供給施設と比べて耐震性に優れており大地震の際の被害の可能性は小さいと考えられるが、万が一の漏洩に備えてリアルタイムに漏洩を検知するシステムは不可欠である。通常、中圧漏洩検知は圧力降下をモニタリングすることによって実施する。東京ガスでは、これまで SIGNAL の 332 点の中圧圧力検知点でモニタリングを行ってきたが、SUPREME においては 3,700 点で中圧モニタリングが可能となり、漏洩検知精度と検知可能範囲の大幅な向上が実現されることがシミュレーションにより確認されている。

(2) 高精度低圧供給網漏洩推定機能

SUPREME では、ほぼリアルタイムに最大 3,700 点からの地震動(SI値、PGA)及び液状化情報が収集される。これを SUPREME に即した地理情報システムに蓄積されたデータと組み合わせることで地震動面的分布推定⁷⁾、液状化層圧面的推定⁸⁾、低圧供給網の被害推定⁹⁾を高精度に実施する。低圧供給網の被害推定結果は、地震直後の被害全体像の把握及び低圧ブロックの供給停止又は継続の判断に利用される。蓄積データベースのうち、供給施設情報として 3,700 基の地区ガバナ及び中圧供給網は線情報として、低圧供給網については 50m 単位のメッシュに集約して管種・口径毎の延長を整備している。また、地盤情報として微地形情報や供給エリア内に約 50,000 本のボーリングデータを収納している。

(3) 超高密度加速度波形データによる事前防災

SUPREME はリアルタイム緊急措置だけでなく、事前地震防災にも利用が可能である。中小地震時に最大 3,700 点の新SIセンサーに蓄積される加速度波形データは、これまでにない超高密度データベースとなり、地盤

増幅度の研究、地震動空間補間技術やゾーニング技術の検討に大きく寄与することになる。この波形データは CD-ROM 等に保存し年1回程度の頻度でデータ公開していく予定である。また超高密度リアルタイム地震情報(SI値、PGA)についてもリアルタイム配信サービスを開始する予定である。

6. まとめ

阪神・淡路大震災を教訓として都市ガス供給網、特に低圧供給網に対する緊急措置レベルの大幅な向上を目的として 1998 年1月から超高密度防災システム SUPREME の構築を開始した。SUPREME は約 3,100km² のエリアに約 3,700 基の地震計(新SIセンサー)を設置し、双方向通信でモニタリング・コントロールする世界一超高密度リアルタイム地震防災システムである。

SUPREME は、2001 年7月に稼働を開始する予定であり、都市ガス供給網の大地震時の防災レベルを大きく向上させると確信している。また、今後は護岸構造等のデータベースを追加し、リアルタイムに液状化が発生した際に側方流動量を推定する技術及び中圧導管の被害推定を高精度に行っていく技術、また低圧ブロックの供給停止・継続のよりの確・迅速な判断支援技術を検討し実用化していく所存である。

参考文献

- 1) 清水善久:早期地震時被害推定システム—SIGNAL—, 計測と制御, Vol.36, pp.41-44, 1997.
- 2) 小金丸健一,清水善久,梁田貴,古川洋之,田久保光:新SIセンサーの開発,土木学会第53回年次学術講演会, pp.852-853, 1998.
- 3) 清水善久,安田進,森本巖:液状化センサー,センサー技術, Vol.11, No.11, pp42-46, 1991.
- 4) 嵯山武:パンフレット,簡易テレメータ装置 DCX200, 2001.
- 5) 関西ライフライン研究会:ライフライン地震防災シンポジウム「阪神・淡路大震災に学ぶ」,3通信施設,pp.229-254, 1997.
- 6) ガス地震対策検討会:ガス地震対策検討会報告書, 1996.
- 7) 石田栄介,磯山龍二,山崎文雄,清水善久,中山渉:防災GISを用いた地盤増幅度の面的整備と地震動面的分布推定に関する検討,土木学会地震工学研究発表会,2001(投稿中)
- 8) 磯山龍二,石田栄介,安田進,東畑郁生,清水善久,小金丸健一:超高密度地震計ネットワークを用いたリアルタイム液状化空間分布推定方法,土木学会地震工学研究発表会,2001(投稿中)
- 9) 細川直行,渡辺孝仁,清水善久,小金丸健一,小川安雄,中濱新吾,磯山龍二:地盤条件を考慮した低圧ガスねじ継手鋼管の被害率予測式の検討,土木学会地震工学研究発表会, 2001(投稿中)