



# 地震防災の新技术

## 新SIセンサーとSUPREME

新SIセンサーは、マイクロマシニング技術を採用した超小型加速度ピックアップ、CPU、RAMを使用した高機能かつ安価な新しいタイプの地震計で、SI値・加速度の計測、XYZ 3軸6地震分の加速度波形記録、加速度波形変化認識に基づく液状化検知、SI値/加速度設定による制御等が可能である。

現在、東京ガスでは、約3 100km<sup>2</sup>の供給エリアにおいて、この新SIセンサーを約3 600個設置中であり、世界一超高密度なリアルタイム地震動計測防災システム（SUPREME）の整備をめざしている。

清水善久

Yoshihisa SHIMIZU

正会員 東京ガス㈱ 防災・供給センター 課長

### 東京ガスの地震防災戦略

東京を中心とした首都圏は、日本の政治・文化・経済などの機能が高度に集中した世界有数の過密地域であり、大地震に見舞われた場合においても安全を確保することは、ガス供給事業者にとって社会的使命である。したがって、大地震に対する備えはきわめて重要な課題であり、これまでも供給施設に関するハードウェアとしての問題と、緊急対応や復旧の効率化等にかかわるソフトウェアの両面について諸々の対応策を講じてきている。

さて、1995年1月17日、阪神・淡路島地区においてマグニチュード7.2の直下型地震が発生し、神戸市を中心に未曾有の大被害をもたらした。都市ガスについても、表に示すように主として低圧ガス供給施設に被害が発生し、地震災害の脅威を再認識するとともに地震時の低圧供給

施設に対する緊急措置システムの重要性が確認された<sup>1)</sup>。

さらに、この阪神・淡路大震災において、大きくクローズアップされた課題は、地震発生直後の被害情報収集が重要にもかかわらず、きわめて困難ということである。この課題を克服する対策の一つとして「リアルタイム地震時被害推定システムの整備」が、いくつかの機関で計画または実施されている。弊社では、SIGNAL - 地震時導管網警報システム - <sup>2)</sup>の開発を1986年から開始し、阪神・淡路大震災の半年前、1994年6月に実用化している。さらに今後の防災レベルのより一層の向上を図るため、約3 600基の地震計（新SIセンサー）を用いた世界一超高密度なリアルタイム地震動計測防災システム - SUPREME (Super-dense Realtime Monitoring of Earthquakes) - の構築を開始した。

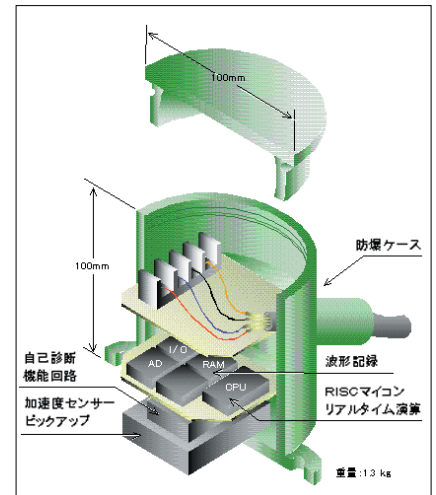


図-1 新SIセンサー構造図



写真-1 新SIセンサー

表-1 阪神・淡路大震災における都市ガス施設の被害状況

項目	内容
導管の被害	中圧導管 106件
	低圧導管 26 459件
供給停止件数	約86万件
復旧日数	85日間

### 新SIセンサーの開発

マイクロマシニング技術により超小型加速度ピックアップ（住友精密工業㈱製）の採用が可能となり、また高性能小型CPU、RAM等が安価に入手できるようになったことから、これまでの1/3～1/2以下の低価格で高機能・高精度を実現させた

新SIセンサー（図-1、写真-1）を㈱山武と共同開発した。その主な機能を以下に示す。

#### (1)制御・計測機能

新SIセンサーは、都市ガスの圧力調整器（地区ガバナ）に地震発生時

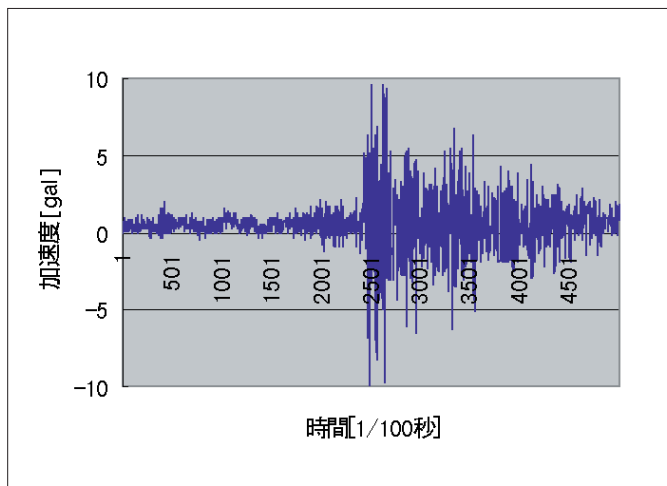


図-2 1998.1.14地震データ（東京都港区港南で観測）

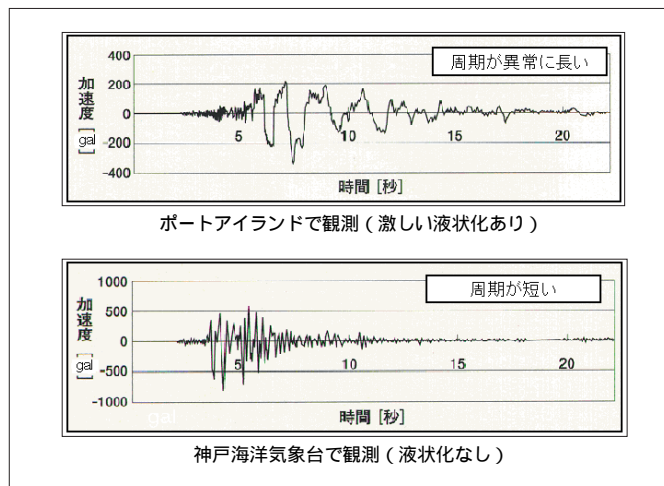


図-3 阪神・淡路大震災における地震波形

に感震遮断させる目的で設置されている。その制御遮断用に無電圧リレー接点出力、計測用にSI値・加速度のアナログ出力、液状化警報出力を持つ。ここでSI値は、地震時の構造物被害と相関が高い値である。主要な構造物の固有周期が0.1～2.5秒の間にあるものと考えて、その間の1質点減衰系の速度応答スペクトルの平均を求めた値がSI値となる。

なお、加速度計測範囲は阪神・淡路大震災クラスにも対応可能なように±2000galとし、さらに地震計として充分使用できるよう分解能を1/8galとしている。

また、温度補正を内部温度センサーで行うことにより計測精度を±5%以内とし、かつ設定変更（SI値/加速度、任意設定可）が可能な警報出力を持っている。

### (2) 波形保存機能

各種防災対策・研究に生かせるように、新SIセンサーは波形保存機能を持つ。データは、SI値の大きな波形（XYZ 3軸）から6地震分、年月日時間等のヘッダー情報とともに内部メモリに保存される。記録されるデータのサンプリングタイムは1/100秒ごと、波形記録時間は、SI最大値を中心として±25秒、計50秒間/地震波である。図-2に、実際に保存された1998年1月14日に茨城

県南部を震源地として発生した地震の加速度波形（東京都港区港南で観測）を示す。

### (3) 液状化判定

地盤の液状化は、被害を推定するうえで非常に重要なデータとなるが、従来は大規模なボーリング工事が

必要であった。新SIセンサーは加速度波形の変化から液状化を判定するため、非常に簡便に液状化を把握することができる。図-3に示すように阪神・淡路大震災におけるポートアイランドと神戸海洋気象台の波形を比べると、明らかに液状化したポートアイランドの地震波形の周期が長くなっていることがわかる。

新SIセンサーでは、この液状化時の地震波形の変化を加速度 $A_{max}$ 、SI値、推定変位 $D$  ( $2SI^2 / A_{max}$ )<sup>3)</sup>、推定周期 $(T)$ を用いて、以下の4条件を満たしたときに液状化が発生したと判定している。なお、ここで推定周期 $(T)$ とは、新SI

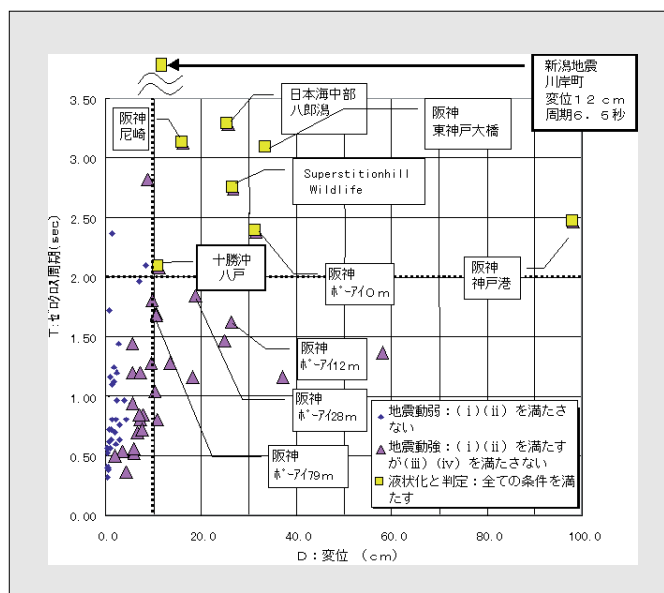


図-4 液状化判定結果

センサーで計測される加速度地震波形がゼロ線を横切る時間間隔（ゼロクロス周期）である。

- ( )  $A_{max} > 100\text{gal}$
- ( ) SI値  $> 20\text{kine}$
- ( )  $D > 10\text{cm}$
- ( )  $T > 2\text{秒}$

図-4に、過去に発生した70地震の波形を分析し液状化判定を実施した結果を示す。70地震の波形から液状化の発生が明らかになった事例は、日本海中部地震（観測地点：八郎瀧）、阪神・淡路大震災（尼崎、神戸港、ポートアイランド（0m）、東神戸大橋）、Superstition Hill (Wildlife)<sup>4)</sup>、新潟地震（川岸町）

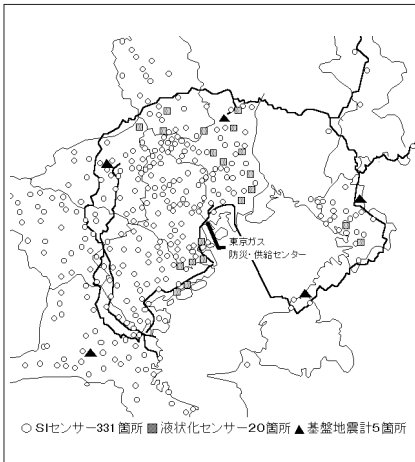


図-5 現在の SIGNAL・SIセンサー配置図

であるが、今回開発した測定法を用いれば、十勝沖地震（八戸）を除き、ほぼ100%の液状化の判定がリアルタイムで可能である。この世界初の技術により、液状化検知が非常に安価に実現できる。

### 新リアルタイム地震動計測防災システム（SUPREME）の展開

弊社では、すでに331局の地震計を用いた“ SIGNAL ”（図-5）を運用しているが、阪神・淡路大震災を教訓として、それに加えて1998年1月より約3,100km<sup>2</sup>の供給区域に対して、約3,600基の地震計（新SIセンサー）を設置しモニタリングする世界一超高密度な“ SUPREME ”の構築を開始した。図-6に、新SIセンサー全数設置後のセンサー配置図を示す。また、図-7にSUPREMEの構成を示す。都市ガスの圧力調整器である地区ガバナに新SIセンサーとDCX（地区ガバナ遠隔監視装置）を設置することにより、0.9km<sup>2</sup>に1つという超高密度で、SI値、PGA（地表面最大加速度）、圧力、ガバナ遮断、液状化警報の遠隔監視が可能となる。SUPREMEの主な活用方法は、以下のとおりである。

超高密度に計測されるSI値と供給区域内のガス導管、地盤データ、地形データを取込んだGISを組合わ

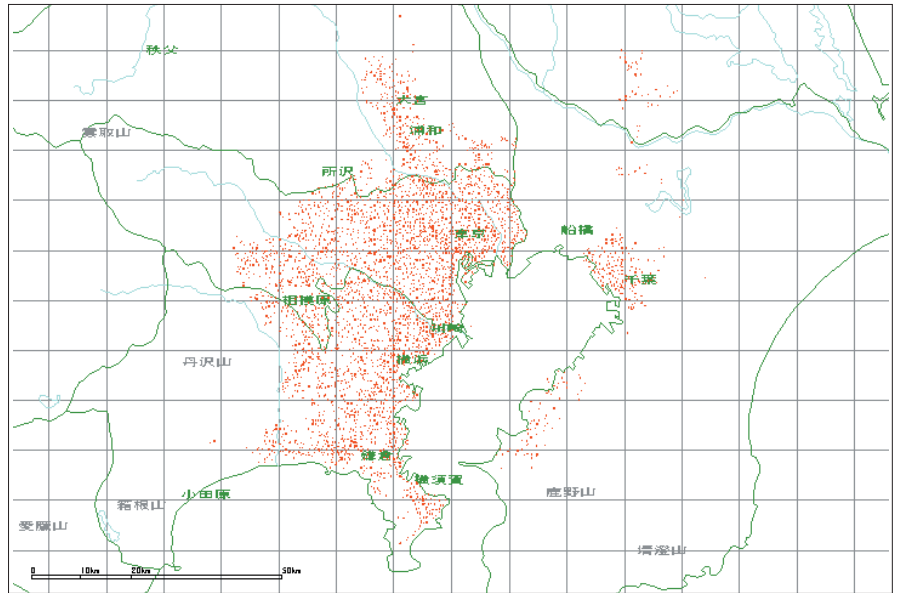


図-6 SUPREME・新SIセンサー配置図

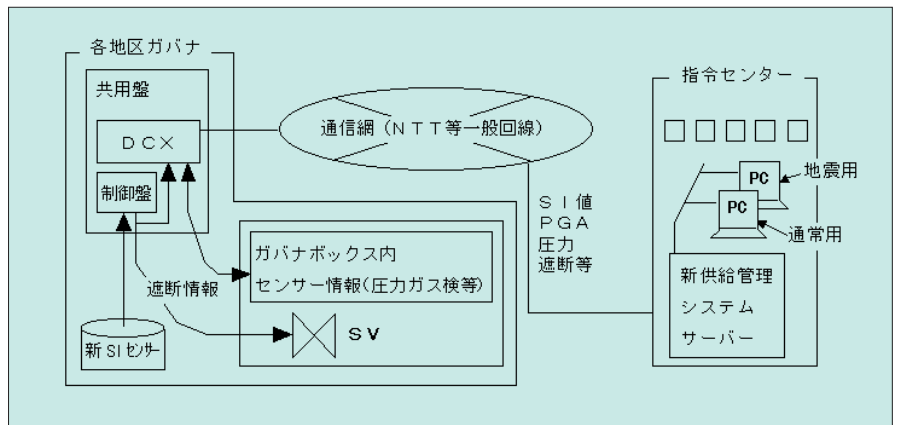


図-7 新リアルタイム防災システム（SUPREME）の構成

せることによる、高精度の被害推定を実施する。

毎年蓄積される中小地震の地震波形データとGISデータを分析することにより、約3,600地点それぞれの揺れやすさを求め、ゾーニングへの反映や緊急措置実行の最適化を行う。

リアルタイム液状化検知が、きめ細かく実行されることから、高精度被害推定・的確な緊急措置実行が可能となる。

今後、SUPREMEで得られる超高密度な中小地震波形については、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。

### 参考文献

- 1 - ガス地震対策検討会：ガス地震対策検討会報告書，1997
- 2 - 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
- 3 - I. Towhata, Park, J.K., Orense, R.P. and Kano, H. : Use of Spectrum Intensity for Immediate Detection of Subsoil Liquefaction, Soils and Foundations, Vol.36, No.2, pp.29-44, 1996
- 4 - Matasovic, J. and Vucetic, M. : Analysis of Seismic Records Obtained on November 24, 1987 at the Wildlife Liquefaction Array, Research Report U.C.L.A., 1993