

緊急地震速報を応用した 防災システムの開発と実用化

本間 文孝
吉岡 献太郎

細谷 正男

地震大国と呼べるほど日本は、世界有数の地震発生国である。これは、太平洋海岸線に隣接するように大陸・海洋性プレート境界や、内陸にある数百を超える活断層が、日本全土に亘り地震の発生源として存在するためである。日本に暮らす以上、地震対策は不可欠である、と言っても過言ではない（地震から逃れるすべはない）。

事実、半導体製造会社である宮城沖電気も、2003年から2005年にかけて計3度の震度5強クラスの地震に被災した。幸いにも人的な被害は無かったものの、3回の地震で約30億円の被害を受けた。

半導体工場は、多くの特殊危険性ガス、薬品を取り扱っている。このような危険物が地震の揺れにより漏洩した場合、人的な被害はもちろん、高額装置の破損・腐食、火災に至る被害までが想定される。この地震の揺れによる2次災害は直接的な1次災害以上に危険性が高く、大規模な災害に発展する可能性も高い。宮城沖電気では2003年の2度の地震被災後、危機管理委員会を設け、従業員の安全確保・お客様への安定供給を通して「安心」を与えるべく、「世界で一番災害に強い半導体工場」を目指して諸々の対策を講じてきた。

現在の科学では、地震発生そのものを止めることは不可能で、予知もほとんど不可能な状態ではあるが、緊急地震速報^{*1)}を有効に活用すれば、主要動（本震、S波）の到達前にガス・薬品・設備を安全な状態に処置し、2次災害を未然に防ぐことができる（地震被害を最小化することが可能となる）。

そこで、宮城沖電気はREIC（リアルタイム地震情報利用協議会）と共同で、地震防災システムの開発、および実用化を行った¹⁾。

緊急地震速報の有効性

宮城沖電気では、従来地震のS波のある閾値（振動加速度）により、従業員への緊急警報、各種ガスの遮断、薬品の供給停止、一部精密機器の稼働停止等の防災システム起動を行ってきた。しかし、S波を感知してからのシステム作動は、大きな揺れの中での動作となるため、その

*1) 緊急地震速報とは、地震観測網から得られた地震情報を即座に伝達し、社会経済に与える損害を軽減するための情報。

地震の規模によっては安定作動しない危険性を有するし、感震後の対応では手遅れの場合もありうる。

わずか十秒でも、事前に大きな揺れが来ることが予知できれば、工場として以下に挙げる安全・被害軽減処置が可能となる。

- ① 作業員・・・安全姿勢の確保、安全地域への1次避難
- ② 各種危険特殊ガス・・・感震後では転倒、破断等で遮断が間に合わない場合への確実な対処
- ③ 設備、製品・・・精密機器、高速回転物（真空ポンプ等）の事前停止による損傷の最小化、製品であるシリコンウエハの破損対策、石英・SiC等（高純度・耐熱・耐薬品性の要求される半導体治具で多用される材料で衝撃には弱い）の破損しやすい部材への事前処置

特に、従業員の安全に関しては、事前に揺れることが判ることによる心の準備が、パニック等による不測の事故を防止し、決められた行動基準による安全確保を可能とする²⁾。

気象庁配信の緊急地震速報について

本システム説明の前に、気象庁より配信される緊急地震速報のフローについて、30年以内に99%の確立で発生すると予測される宮城県沖地震をモデルにシステムの概要を説明する。

図1に想定宮城県沖地震発生時の地震波の伝播と気象庁から配信される緊急地震速報の伝達タイムチャートを示す。地震発生後、最初の観測点（25Km間隔で設置）でP波（初期微動）を検知し、得られた地震波を解析することにより、震源地・地震の規模および、各地の震度を秒単位の短時間で推定し、情報が配信される。

図1の例では、地震発生15秒後に震源直近の観測点で得られたデータを元に宮城沖電気で情報を受けるのはその4秒後で、地震発生より19秒後となる。P波とS波の伝播速度の差から、S波の襲来は約35秒後となるので、約16秒の余裕時間が生まれる。また、第2・第3観測点と検知観

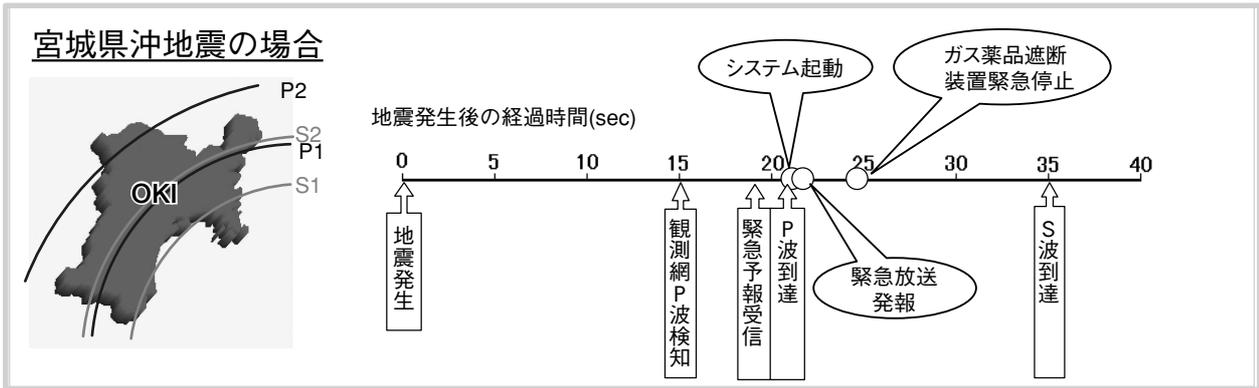


図1 地震波の伝播タイムチャート

測点が増えれば、震源・震度情報共に精度が向上するが、反面、余裕時間は減少することになる^{3) 4)}。

気象庁配信の緊急地震速報は上述のとおり、地震発生時のリスク対策として非常に有効な情報であるが、以下に述べる課題があり、365日稼動する半導体工場では、ガス・薬品・設備を遮断、もしくは停止するには多くのリスクがあり、全面導入には至っていないのが現状である。

- ① 誤報の発生率を0にできない（第1報320報中、20報が誤報）
- ② 予想震度で1～2の誤差を生ずる可能性がある
- ③ 近傍震源（直下型地震）への対応が困難

防災システムの概要

宮城沖電気とREICが共同開発した緊急地震速報を用いた本防災システムでは、上述した課題を解決するため、Phase I、II、IIIの3段階で予想震度の精度向上、信頼性向上、直下型地震への対応を図っている。それぞれのシステム概要と制御アルゴリズムを以下に説明する。

(1) Phase I・・・気象庁緊急地震速報の精度補正システム

気象庁配信の緊急地震速報のデータベースに、当社の立地地盤情報（地盤増幅率：基盤面と地表面の加速度応答スペクトルの比で表され、地表面の揺れやすさをあらわす数値）を加味し、最大震度の精度向上を図ったシステムである。ここで、想定宮城沖地震発生時の宮城県内予想震度分布を図2に示すが、図を見れば明らかで震源から等距離であっても、その予想震度は大きく異なっている。これは、それぞれの地盤特性によるもので、予測震度の精度確保には、最低限必要な情報となる。

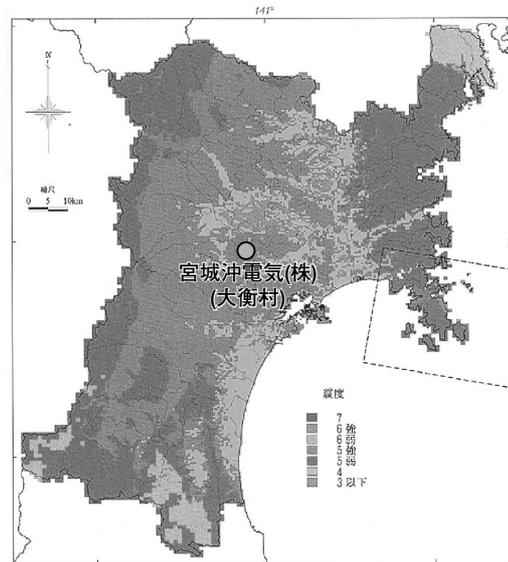


図2 想定宮城沖地震発生時の予想震度分布
(想定震源：金華山沖)

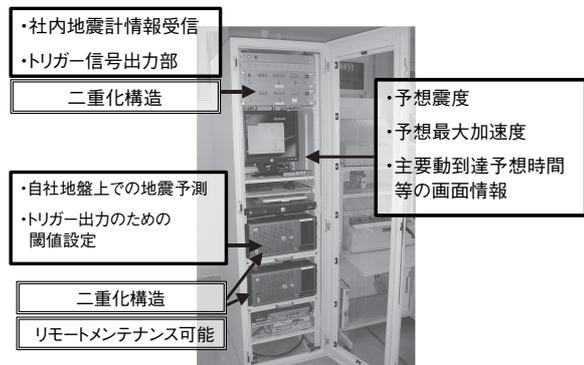


写真1 緊急地震速報を用いた防災システム

(2) Phase II・・・現地P波地震計による精度向上

写真1（前ページ）にPhase II, IIIを統合した防災システムの写真を、図3にその概略図を示す。

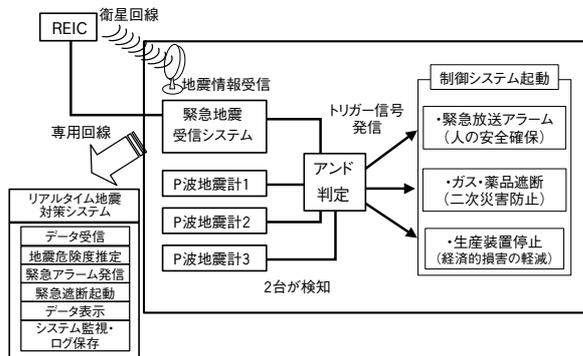


図3 地震防災システム概要

本システムの狙いは、前述のPhase Iの緊急地震速報のみのトリガーに加え、現地（宮城沖電気内）P波地震計情報との併用により、地震情報の精度を大幅に向上させることである。特徴は以下の3点である。

- ① 緊急地震速報と現地地震計の併用で誤報を排除
- ② 現地地震計により、P波到来を確認
- ③ システムの二重化、システム監視、リモートメンテナンス機能により稼働信頼性を向上

本システムの特徴は、社内敷地内に3台のP波地震計を設置し、3台中2台が地震そのものを検知（P波震動を検知）した場合、緊急地震速報とのアンド回路によってトリガー信号を発信することにある。

図1のタイムチャートの上、余裕時間は16秒あったが、社内P波地震計での検知時間（緊急地震速報受信後3秒後）、

社内各種遮断、停止システムの動作を考慮し、最終トリガー出力時の余裕時間は10秒に設定している。この間、気象庁観測網での検知データも増えるため、震度予測精度はさらに向上する。

以上述べたように本システムの導入により、誤報、精度不足はかなり解消されたが、近傍で発生する直下型地震の場合、緊急地震速報受信からS波襲来までの余裕時間が確保できず、対処が不可能である。

図4に近傍に位置する長町・利府断層が震源（直下型地震）の場合のタイムチャートを示す。この場合、第1観測点で検知されるのが地震発生後4秒後で、緊急地震速報を受信できるのは9秒後となる。この間、S波が襲来してしまうことになる。

そこで、最終Phaseとして、自社P波計データを元にS波震度を直接予測するシステム検討を行った。

(3) Phase III・・・現地P波地震計による予測システム

防災システムの完成型として開発したシステムでは、社内設置のP波地震計データを用い、S波震度を直接予測する演算ソフトを導入した。それにより、図4のタイムチャート上ではS波到着前わずか3秒ではあるが、放送・遮断・停止等の処置可能な余裕時間を確保することが可能となった。

また、海洋型地震に対しても緊急地震速報データとの組み合わせにより、更なる精度の向上が図られたと同時に、両予測震度のマトリックス判断を導入することにより、判断精度の大幅な向上も図れた。

稼働信頼性向上

図5に本システムの全体概要を示す。システムを構成する全てのユニットは、いつ来るかわからない地震に対し、

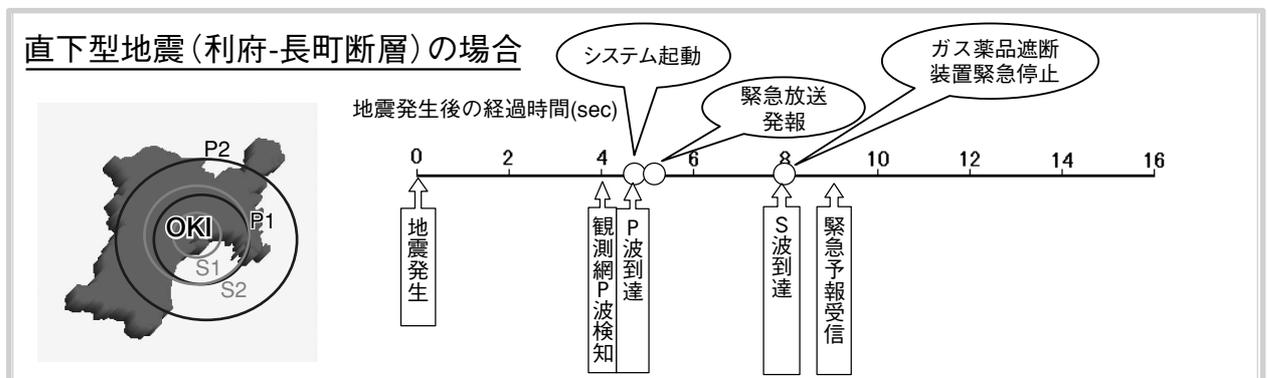


図4 直下型地震波の伝播タイムチャート

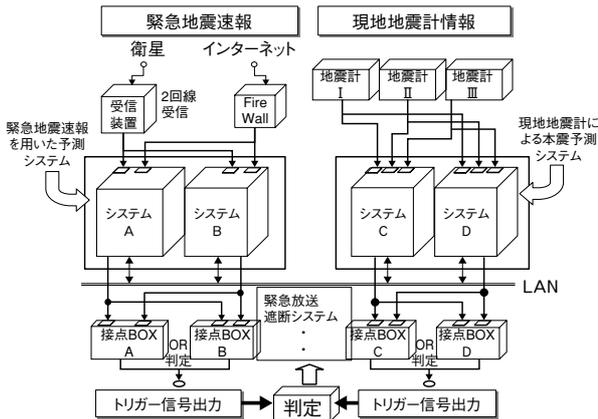


図5 防災システム全体概要

100%稼働を確保するため全て二重化している。緊急地震速報は、インターネット・衛星回線による通信パスの確保、接点・システムA~Dも同様に片方ダウンしても稼働するように二重化している。また、システムA~D内には、相互を監視するソフトを常駐、異常を感知した場合、e-mailにより保守管理を行っているREICへの情報伝送が可能となっている。

まとめ

図6に地震防災システムの最終システム概要図を示す。防災システムで80galと判定された場合、社内に「地震が来ます。安全を確保して下さい」という放送が流れる。120galと判定されると、地震遮断盤を通じ、ガス、薬品の供給が遮断される。この遮断系統には従来のS波遮断も引き続き使われ、いずれかのトリガー-信号が入ることで地震遮断盤が作動する。

一方、工場内の設備に関しては、信号盤を介して、精密加工用露光装置の停止、高所を通過している搬送車の緊急停止、テスト工場のテスター停止等が行われる。いずれもS波が来る前の安定な状態で停止を行い、損傷の軽減を図ると共に、震災後の復旧時間を最短で実現するための処置である。

今回のシステムでは、気象庁から配信される緊急地震速報の精度不足を、現地地震計との並列データ処理にて補うことにより、多大なコストを費やす半導体工場でも十分に導入が可能レベルまで信頼性を高めることができた。予知情報が入ってから余裕時間は短く、限られている。その時間を“有効な時間”として積極的に使うのか、“短い”として何もしないのかによって本システムの価値は大きく変わる。

弊社は、予知情報を積極的に活用し、さらに進化させ

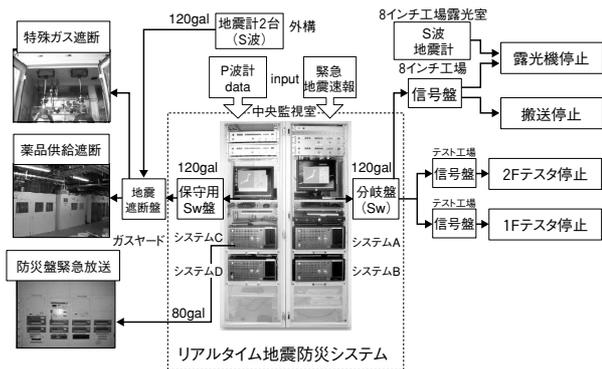


図6 地震防災システム制御系統図

ることで、従業員の安全確保はもちろん、被害の軽減、復旧作業の軽減化により、お客様に安心をご提供していく所存である

また、弊社の活動は、積極的な活用事例として、マスコミに大きく取り上げられ、NHK「クローズアップ現代」をはじめ、広く紹介されている。今後はPhaseⅢの完成度を高め、震度精度の向上を図ると共に、直下型地震にも十分対応できるシステムとして完成させていく。

最後に、本システムの開発着手以前より防災システムに関し多大なるご指導を賜りました、東北大学 源栄教授に深く感謝いたします。 ◆◆

参考文献

- 1) 吉岡献太郎：リアルタイム地震防災システムの概要，建築防災，2006.7.1，pp.22-27
- 2) 吉岡献太郎：先端半導体工場における地震対策（日経コミュニケーション主催，ネットワークを駆使したシステム防災対策），2005.12.5
- 3) 市嶋洋平：宮城・関東で判明，緊急地震速報の実用化，日経コミュニケーション，2005.9.15，pp.75-77
- 4) 市嶋洋平：ここまで来た地震対策 ITが生む10秒の猶予：日経コンピュータ，2006.5.15，pp.56-61

筆者紹介

本間文孝：Fumitaka Homma. 宮城沖電気株式会社 生産推進室 生産推進チーム チームリーダー
 細谷正男：Masao Hosoya. 宮城沖電気株式会社 生産推進室 部長
 吉岡献太郎：Kentarou Yoshioka. 宮城沖電気株式会社 代表取締役社長