

オンライン強震波形データ収集システムの構築と既存強震計・震度計のネットワーク化

DEVELOPMENT OF ON-LINE DATA ACQUISITION SYSTEM FOR STRONG MOTION SEISMIC RECORDS AND ITS APPLICATION TO EXISTENT OBSERVATION SYSTEMS

飛田 潤 —*1 福和伸夫 —*2
中野 優 —*3 山岡耕春 —*4

Jun TOBITA —*1 Nobuo FUKUWA —*2
Masaru NAKANO —*3 Koshun YAMAOKA —*4

キーワード：
強震波形データ, 強震計, 震度計, 移動通信, LAN, インターネット

Keywords:
Strong motion seismic records, Strong motion sensors, Intensity sensors, Mobile connection, Local Area Network, The Internet

On-line strong motion seismic data acquisition system is developed and applied to existent strong motion and seismic intensity observation systems. Approximately 200 sites have been connected in Tokai district, which belong to local government, lifeline companies, universities and institutes. Some on-line connection techniques have been newly developed and used for existing systems with various hardware and software. Finally, some new aspects on network connection for strong motion observation are discussed.

1. はじめに

全国に設置された地震計は近年飛躍的に増加しているが、一般に導入した機関毎に独自に管理されており、得られたデータは公開されない場合も多い。また設置や維持管理に十分な注意が払われていないケースもあると思われる。これからの耐震設計や都市防災に関する研究と実務のためには、全国を覆うようになった高密度の地震計から得られるデータ、特に強震波形データを収集・整理し、さらには公開して研究者・実務者で共有することが望ましい。スムーズな情報収集のためにはオンライン化、ネットワーク化が不可欠である。

現状では、防災科学技術研究所のK-net、KiK-netは全国を一定密度で覆う良質の強震観測網であり、オンラインで波形データを収集・データベース化してウェブで公開している。また気象庁も全国で良質の記録を収集・整理している。しかし、これらはせいぜい数10km²に1箇所であり、都市防災や個々の建物の設計資料という観点からは、十分な密度とは言えない。一方、気象庁に加えて、自治省が各自治体に設置した計測震度計は、オンラインで計測震度を速やかに収集して整理・公表しており、各種報道メディアやインターネット上で震度情報が得られる。ガス・電力などのライフライン企業や鉄道などでも、災害時の速やかな対応のために同様のシステムを構築している^{例えば2)}。これらを含めると、特に都市部においてはかなりの密度で地震記録が得られることになる。ただしこれらはいずれも震度やSI値などの代表値を対象としており、収集負荷が大きく利用も難しい波形データについては、オンライン収集あるいは公表の対象外である。

このような背景から、本報告では地震波形データをオンラインで収

集するシステムを開発し、東海地方の自治体、ライフライン企業および大学の既存の地震観測システムをネットワーク化した事例について述べる。著者らは以前からネットワークに地震計を接続することにより、オンラインで波形収集を行うシステムを構築しており³⁾、その技術を用いて環境振動のモニタリングも行っている⁴⁾。また松下ら⁵⁾はLANや移動通信による地震計接続を提案している。一方、多様な既存システムとの接続の際に最も問題となるのは、ハードウェア、データ転送方法、データ形式、整理・保存方法などが千差万別なことであり、システムを導入した目的や組織の立場による差も著しい。これらに対応して多様な接続の様式を開発したことが本システムの大きな特色となっている。最後に、このようなシステム開発を踏まえて、今後のオンライン強震観測のための具体的技術と新たな可能性を提示する。

2. システムの概要

2.1 波形データ収集対象地点

収集対象機関と地点数を表1に、地点分布を図1、図2に示す。東海3県に約200点、愛知・岐阜にまたがる濃尾平野で約80点、名古屋市内で約50点である。岐阜県については自治体の計測震度計からの波形収集ができないため、南部の濃尾平野以外は全く計測点がない。

2.2 システム構成の概要

図3にシステムの全体構成とデータ転送の概要を示す。新設の機器は主に図の右半分に示されており、データサーバ、ウェブサーバ、監視装置、接続機関ごとのデータ収集装置、および各種回線接続機器やバックアップ装置などの周辺機器(図では略)から構成されている。

*1 名古屋大学工学部社会環境工学科 助教授・工博
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

*2 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻 教授・工博

*3 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻 助手・博士(理学)

*4 名古屋大学大学院理学研究科地震火山観測研究センター 助教授・理博

*1 Assoc. Prof., School of Engineering, Nagoya University, Dr. Eng.

*2 Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Eng.

*3 Res. Assoc., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Sci.

*4 Assoc. Prof., Research Center for Seismology and Volcanology, Nagoya University, Dr. Sci.

データサーバは本システムの中心となる機器であり、主に以下の機能を有する。ハードウェアはPC (Pentium III 600MHz、メモリ 256MB、HDD20GB 内蔵 +120GB RAID5) でOSはLinuxである。

- ①気象庁の震源・震度情報を電子メールで受信し、東海地域である程度の波形データが期待できる場合(マグニチュードおよび震度で条件設定)には、イベントディレクトリを用意して波形収集の準備を行う。
- ②三重県など一部の機関の収集装置へ波形収集のトリガを送る。
- ③各機関から送られてきた波形データを、必要なら共通フォーマット(winフォーマット)に変換してイベントディレクトリに格納する。イベントの同定には、震源情報から計算したP、S波理論走時と観測記録の初動時刻の時間差を監視することにより行っている。
- ④収集状況を地図上に随時まとめてプロットする。

ウェブサーバは、httpやftpにより収集状況や波形データをネットワーク経由で参照できるようにするものである。ハードウェアとOSはデータサーバとほぼ同一である。データサーバと同一の波形データや収集情報を並列で持っており、バックアップとともに、将来的にインターネットで公開する際の管理やセキュリティを考慮してある。ウェブサーバの情報は、通常のブラウザによりネットワーク経由で参照でき、これを利用した監視装置は通常のWindows PCで十分である。

表1 波形データ収集対象の機関・システムと地点数

記号	名称	観測地点数	地震計設置数	備考
AIC	愛知県	74	74	計測震度計
MIE	三重県	68	68	計測震度計
NGY	名古屋市	16	18	地震被害想定システム、地中2(工学基盤)
THG	東邦ガス	10	10	既設SIセンサ近傍に強震計(SI機能付)併設
CEP	中部電力	2	6	地中4
AIT	愛知工業大学	1	5	地中2(岩盤1)
NUE	名古屋大学強震観測	3	40	地表14、地中5(工学基盤1)、8建物
NUS	名古屋大学基準観測	4	4	岩盤上の微小地震観測点に強震計併設
NUG	名古屋大学岐阜県観測点	6	6	既設計測震度計近傍に強震計併設
NUM	機動強震動観測	10	10	名古屋市内・岐阜県内の測線に仮設置
合計地点数		194	241	
参考	K-net	61	61	東海3県(愛知・岐阜・三重)

* 地点数が文献1)と異なる場合があるが、全点から波形データ収集を行っているとは限らないためである。
 * 大学キャンパスなど同一の敷地に複数の地震計が設置してある場合は、地点数を1とカウントした。
 * 東邦ガスの既設SIセンサ104地点はオフラインのデータ入手が可能であるため、図1、2に表示してある。

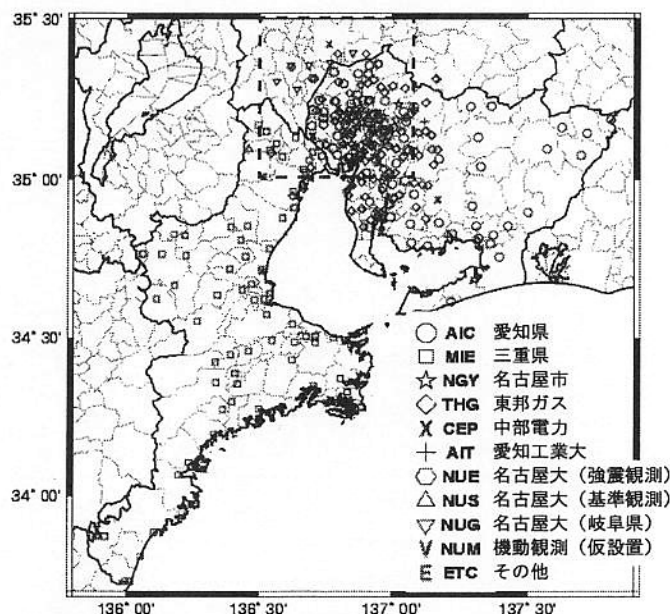


図1 強震観測地点(東海3県)

2.3 既設強震計・観測システムとの接続

先にも述べたように本システムの特徴は、多数の機関との接続を、既存システムの特性や各機関の環境・立場などを考慮して、多様な技術を用いて実現した点にある。以下では対象機関毎に図3と対応して簡単に述べる。図3では左の列から地震計、各機関の既存サーバ、本システムの収集装置、そしてデータサーバと並んでおり、基本的に3段階のデータ転送が行われる。収集装置は、各機関との複雑なデータ転送手順をコントロールするとともに、それぞれに個別のデータフォーマットを共通フォーマットに変換する役目を果たす。なお各機関の既存サーバは名古屋大の強震観測・基準観測がEWS、その他は全てWindows PC、本システム側の収集装置は全てWindows PCである。

(1)愛知県計測震度ネットワーク

自治体の計測震度計は波形獲得を目的としないため、一般に波形データ収集は容易でない。しかし愛知県では既存のシステムが電話回線による波形収集機能を備えているため、地震後に既存サーバに震度と波形データが自動転送される。このデータを定時に隣に設置した収集装置にコピーし、さらにISDN回線でデータサーバに送っている。

(2)三重県計測震度ネットワーク

既存システムのオンライン波形収集機能が十分な容量を持っていない

ため、各地点の震度計に電話回線で直接アクセスして波形データを収集する。この際に震度計に記録されたファイル名が必要なため、地震後にまず既存サーバにアクセスして震度収集状況とファイル名を取得し、それに基づいて各地点に電話接続する手順となる。

(3)名古屋市地震被害予測システム

既存サーバが最大値・震度等の後に波形データを収集し、一定時間後に本システムの収集装置にISDNで転送する。収集装置とデータサーバ間はディスクミラーリングを用いる。

(4)東邦ガス

東邦ガスは名古屋市を中心とする濃尾平野一円のガス供給施設に、100箇所以上のSIセンサを設置している。これ

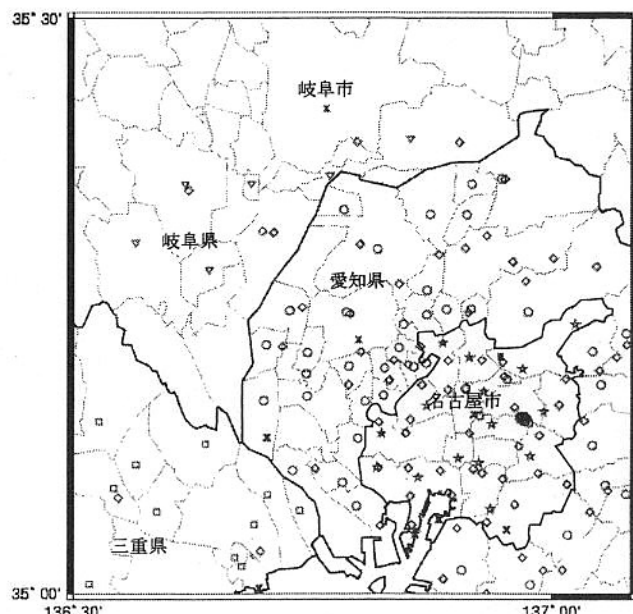


図2 強震観測地点(濃尾平野周辺、図1の破線内)

らはSI値はオンラインで通報されるものの、波形は点検時に現地で回収するしかない。従って今回は既設のSIセンサーのうち10地点について、同じ設置台上または近傍の床、地表などに強震計（SI機能付）を新設した。設置するガス施設の状況から新たな配線を極力避け、PHSあるいは携帯電話によりデータ収集装置に接続することとした。

(5) 中部電力

中部電力は電力関係施設の地盤・建物に高密度の観測システムを持ち、これらを技術研究所でオンライン一括管理している。地震後に収集された記録のうち、提供が可能な記録（主に地盤）のみをISDN回線で定時にデータサーバに転送する。既存サーバを改修してフォーマット変換と転送機能を備えたため、収集装置を介さずに直接データサーバに転送している。

(6) 愛知工業大学

大学はキャンパス内のLANおよびインターネット接続環境が整備されている。この利点を活かすべく、従来シリアル接続されていた地

震計—既存サーバ間について、LANアダプタにより地震計のシリアルポートを直接ネットワークに接続した。これにより既存サーバはLAN経由で地震計の波形データを受信でき、また地震計にアクセスして各種操作をすることもできる。既存サーバとデータサーバとの間はインターネットにより直接・高速にデータ転送できる。

(7) 名古屋大学（強震観測等）

名古屋大キャンパス内での強震観測³⁾・環境振動モニタリングシステム⁴⁾である。地震計をノートPCを介してLANと接続する技術を用いていたが、愛知工業大学と同様のLANアダプタに一部を変更した。従来型の接続も残っていること、既設サーバは他の機能も備えていることなどのため、既設サーバで新しい接続方式の強震計からデータ受信するシステム改修は容易ではない。そこでまず地震計から新設の収集装置にLAN経由でデータを転送し、そこから既設サーバに転送する方式をとった。データサーバへは既設サーバがデータミラーリングしている。既存システムの改修が困難な場合のモデルケースとなろう。

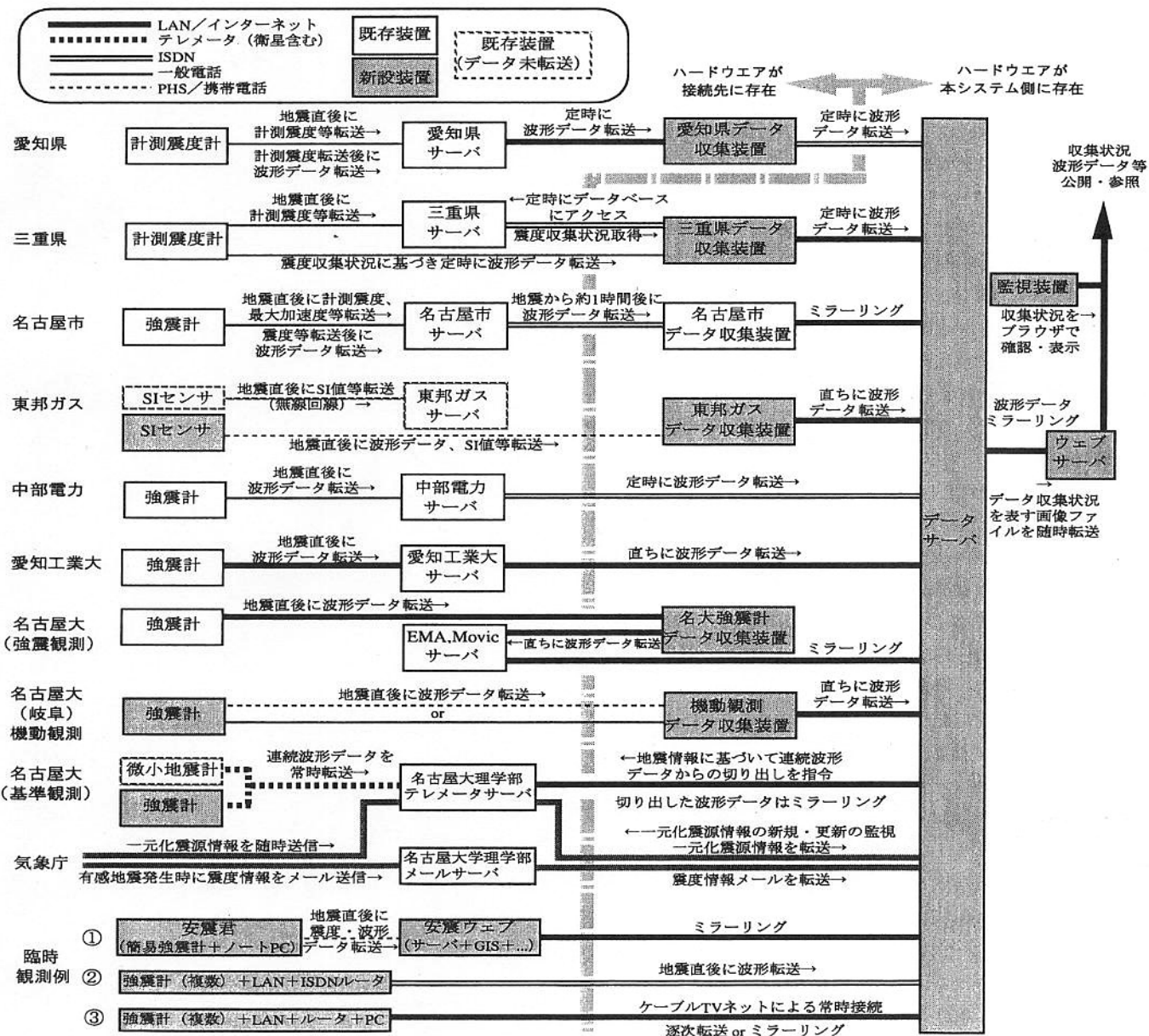


図3 データ提供機関・システム毎の接続機器構成と地震時のデータ転送

(8)名古屋大学(岐阜県新規設置)および機動強震動観測

岐阜県の計測震度計は波形収録機能がないため、特に重要な南部の濃尾平野地域に、既存震度計に併設する形で6地点を新設した。また、余震観測などのために機動性の高い地震計を10式そろえており、現在は濃尾平野内の養老断層に直交する測線と名古屋市内の測線に仮設置している。これらの地震計は内蔵のPCカードスロットにカード型通信アダプタを備えており、一般回線あるいはPHSや携帯電話のいずれかを状況に応じて選択できる。単独で新設する地震計のスタンダードな接続形式といえる。都市域では転送速度の速いPHSがよいが、郊外や建物のかけでは携帯電話が必要なケースも多い。

(9)名古屋大学(基準観測)

名古屋大学理学部の微小地震観測施設4箇所に強震センサを併設し、既設テレメータ(1箇所は衛星テレメータを新設)により既存のサーバに連続波形記録を転送している。既存サーバにソフトを追加し、地震時にデータサーバからの指令により指定の時間区間の波形データを切り出す機能を付加した。データはディスクミラーリングによりデータサーバに送られ、データサーバ側でフォーマット変換される。

2.4 データ収集・転送のタイミング

既存システム・強震計との接続で重要なのは、そのシステムの本来の機能に障害を与えないことであろう。特に自治体の震度計との接続において、震度通報に障害を及ぼすことは問題が非常に大きい。今回のシステムでは既存サーバ等にアクセスするタイミングとして、①地震発生後の一定時間は避ける、②通常業務に影響のある時間を避けて時間帯を設定する、③地震発生時は直ちに処理を中断して接続を終了する、の3条件を考慮し、相手先によって設定を変えている。①については既存システムの処理能力にもよるが1時間から数時間を設定している。②は自治体では深夜～早朝を希望されることが多い。③について、トリガ時に転送処理を中断することは強震計の標準的な機能といえるが、システムとしても地震発生時に他の接続処理を停止して観測を最優先することの保証が、接続の必須条件と考えられる。

2.5 システムの稼働状況と課題

本格運用を開始してまもなく平成12年10月6日鳥取県西部地震、10月31日三重県南部地震などが発生し、多数の記録が順調に得られるとともに、システム稼働状況のチェックを行うことができた。自動データ収集に失敗した例の多くはイベント同定の問題であり、気象庁震度情報速報の発生時刻が分単位であること、連続するイベントの分離のために同一イベント判定時刻範囲を短くしたこと、地震計の時刻較正不備、などが関連していた。通信の不安定によると思われる収集ミスもあり、接続後の調整は重要である。また、転送された波形データから震度計の不具合や時刻ずれを発見した例があることから、本システムが既存観測点の検証と維持管理という面でも有用であるといえる。

3. オンライン強震観測のための技術

3.1 電話回線・移動体通信技術

地震計のオンライン化に用いられる回線には、一般回線、携帯電話、PHS、ISDNなどがある。以前は一般回線が多かったが、現在では移動体通信が普及し、携帯電話やPHSを選んでも設置の自由度や容易さからトータルコストでは見合う程度といえる。図3の臨時観測例①に示す「安震システム⁶⁾」は、安価な地震計と多機能ノートPCをPHS

でサーバに接続し、強震記録だけでなくアンケートや写真など各種災害情報も含めたオンライン超高密度データ収集網を構成した例である。転送速度ではISDNについてPHSが高速だが、受け側にPHSまたはISDNを必要とする。受け側はISDN回線にDSU+TAを接続し、S/T端子にISDNルータ、アナログ端子にモデムを接続することにより、地震計側の回線がISDN、一般電話、携帯電話、PHSのいずれであっても、または以下に述べるようなLANであっても発着信可能となる。

3.2 LANとインターネットの利用

LANやインターネット常時接続は、データ転送速度やデータ監視のリアルタイム性において電話回線より格段に優れている。まず地震計については、現状では未だにシリアルポートが一般的であるが、LANアダプタ(シリアル→TCP/IPプロトコル変換器)を用いればシリアルポートから直接LANに接続できる。次に、各地点で複数の観測機器を接続したLANをデータサーバへ接続する方法には、図3の臨時観測例に示すように②ISDN回線と③常時接続がある。常時接続は一般に高価だが、本システムでは近年都市部で普及しているケーブルTVインターネット接続を利用している。一般家庭でも数千円/月でかなり高速の常時接続ができ、地震計だけでなくカメラ等も接続した常時モニタリングも手軽に可能になる。ただしグローバルIPアドレスはごく少数しか発行されないため、LAN内の複数機器に外部からアクセスするにはPCによりサブネットを構成するなどの工夫が必要となる。

4. おわりに

既存地震観測システムを中心に波形データをオンライン収集する技術を検討し、システムを開発した。得られた情報のきめ細かな公開や利用法の提案、観測機関へのフィードバック等が今後の課題といえる。また、コンピュータや通信機器の発展を参考にすれば、新たな地震観測システムや、既存システムの新たな利用法の展開があり得る。

謝辞

システム開発にあたって、愛知工業大学・正木和明教授、愛知県・青木善昭氏、三重県・長嶋康氏、岐阜県・山田昇治氏、名古屋市・鈴木貴雄氏、中部電力・杉山武氏・澤克紀氏・和田浩之氏、東邦ガス・堀内勉氏・小島清嗣氏・中濱新吾氏・佐藤英一郎氏、応用地震計測・原徹夫氏ほかのご協力を得た。記して謝意を表す。なお本システムは全国6大学で開発された「大都市圏強震動総合観測ネットワークシステム」の一環である。

参考文献

- 1) 福和伸夫, 飛田潤, 中野優, 高橋広人, 飯田正憲, 石田理永: 名古屋市の地盤・強震動・微動データのコンパイルと地盤震動性状区分, 日本建築学会技術報告集, 第10号, 41-46, 2000.6.
- 2) 山崎文雄, 片山恒雄, 野田茂, 吉川洋一, 大谷泰昭: 大規模都市ガス管網地震時警報システムの開発, 土木学会論文集, No.525, 331-340, 1995.
- 3) 福和伸夫, 山田耕司, 石田栄介, 森保宏, 辻本誠, 松井徹哉: オンライン強震観測・地震被害想定・振動実験システムの構築, 日本建築学会技術報告集, 第3号, 41-46, 1996.12.
- 4) 福和伸夫, 飛田潤, 西阪理永: 学内LANの利用による環境振動モニタリングシステム, 日本建築学会技術報告集, 第5号, 158-162, 1997.12.
- 5) 松下剛史, 土肥博, 稲葉拓, 奥田賢持: 情報通信技術を利用した地震観測システムの構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.B2, 511-512, 2000.
- 6) 福和伸夫, 高井博雄, 飛田潤: 双方向災害情報システム「安震システム」と携帯型災害情報端末「安震君」, 日本建築学会技術報告集, 第12号, 227-232, 2001.1.

[2000年10月19日原稿受理 2001年2月22日採用決定]