日本地震工学会・大会-2015　発表論文
Copyright © 2015 Japan Association for Earthquake Engineering. All Rights Reserved.

ホームサイスモメータの普及状況および利活用に関する調査

内藤昌平[1)]、中村洋光[2)]、藤原広行[3)]、藤牧静子[4)]、加地正明[4)]

1) 正会員　防災科学技術研究所、研究員　修士（理学）

2) 正会員　防災科学技術研究所、主任研究員　博士（理学）

3) 正会員　防災科学技術研究所、総括主任研究員　博士（理学）

4) 非会員　株式会社エイツー

要　約

緊急地震速報受信装置にMEMS型加速度計とA/Dコンバータを付加した「ホームサイスモメータ」について、現在の普及状況を調査するとともに、内蔵地震計によって取得された地震記録について調査した。また、ホームサイスモメータの利活用状況に関するアンケート調査を実施し、リアルタイム地震情報の利活用に関して検討を行った。

キーワード：　緊急地震速報、リアルタイム地震情報、MEMS、アンケート

1. はじめに

わが国では防災科学技術研究所が管理する高感度地震観測網(Hi-net)約800箇所や気象庁が管理する地震計約220箇所等のうち、２箇所以上の地震観測点で地震波(P波)が観測され最大震度５弱以上と予想された場合、地震発生時・震源の推定値・震度４以上の揺れが予測される地域等を含む「緊急地震速報（警報）」が気象庁により即時配信され、テレビ・ラジオ、携帯電話・スマートフォン、館内放送等により一般向けに情報提供される。また、警報には満たないものの地震の規模M3.5以上または最大震度３以上等と予想される地震波が検出された場合、時間経過とともに精度が高まる複数の報として「緊急地震速報（予報）」が予報業務許可事業者を通じて、各種機器の制御や防災のために活用されている[1)]。

ただし、これらの地震観測施設の設置密度やデータ伝送遅延等を踏まえると、震源から約30km以内で発生した地震の場合には緊急地震速報の情報配信が間に合わないことが指摘されている[2)]。しかしながら地震計の設置や維持管理にかかる費用を考えると、これらと同等の性能をもつ地震観測点の密度を急増させることは現実的ではない。一方で、近年の情報技術進展に伴ってMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)等の比較的安価かつ小型な半導体センサーが各種モバイル機器に内蔵されるなど普及が進んでおり、これらのセンサーを用いて地震観測を実施する実験が各種実施されている[3)]。

そこで、このようなMEMS型加速度計およびA/Dコンバータを緊急地震速報受信装置に付加した「ホームサイスモメータ」を開発し、緊急地震速報とオンサイトの揺れの情報を融合した即時的な地震情報を配信することにより企業・公共機関等を対象とした極めて高密度な観測網を整備することが可能にな

り、それにより直下型地震発生時に緊急地震速報が間に合わない地域をより狭めることができるという提案がなされた[4]。その後、防災科学技術研究所により試作機の製作[5]、試験観測[6]、地震波とノイズを識別するアルゴリズムの開発[7][8]等が実施され、現在は予報業務許可事業者である株式会社エイツーにより直下型地震対応緊急地震速報配信サービス「ホームサイスモ」として運営されている。

本論ではこのホームサイスモメータの現在に至る普及状況についてまとめるとともに、緊急地震速報と内蔵地震計を併用したリアルタイム地震情報の利活用方法について、アンケート調査結果、および内蔵地震計によって記録された計測データを用いて検討した内容について報告する。

2. ホームサイスモメータの普及状況と内蔵地震計による計測記録について

2007年に防災科研により試作機を用いた実証実験が開始されて以来、約8年が経過した2015年9月時点では、日本全国で約4,200台のホームサイスモメータが稼働している（図１）。これは台数の上では日本全国に設置されている震度観測点の数とほぼ同程度である。これらの端末の分布は日本全国を均質に覆っているわけではなく、関東平野、大阪平野、濃尾平野等の都市部に集中しているほか、自治体単位で導入を行っている和歌山県・徳島県等で設置密度が高い。一方、島嶼部や山間部等、設置密度が低い地域も存在する（図２）。

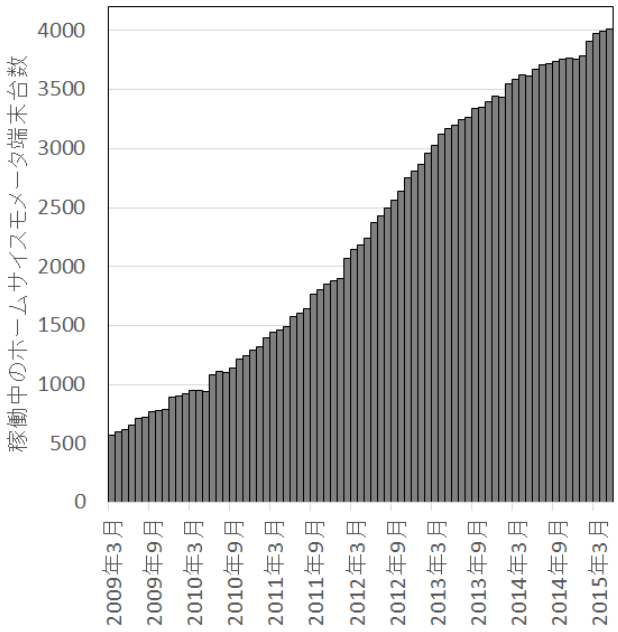

図１　ホームサイスモメータの台数の推移

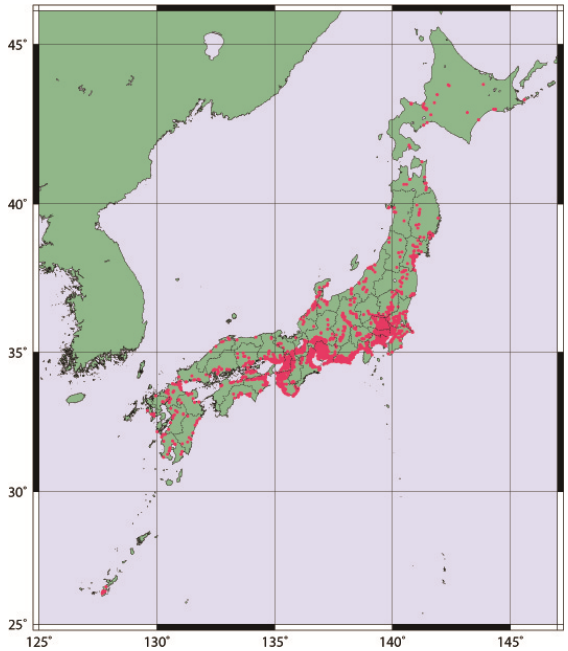

図２　ホームサイスモメータの設置箇所

これらのホームサイスモメータ端末にはMEMS型加速度計が内蔵されており、この加速度計のノイズレベルは1Hz付近で約±1galであることが確認されている[5]。また、この加速度計を用いて地震とノイズを識別するため、3成分の加速度記録を500Hzサンプリングした波形データと、その低域フィルタの出力を100Hzにしたものをリングバッファに保存する。そこで、100Hzデータの短時間（0.5秒）平均と長時間（30秒）平均の比を用いて顕著な位相発生の検出を行い、顕著な位相が検出された場合は500Hzのデータを用いてP波到着時刻を読み取り、P波到着時刻以降のデータについて加速度とその微分の平均振幅を計算し卓越周波数を計算する。この卓越周波数が50Hzより高い場合はノイズ、15Hzより低い場合は地震とし、その中間は位相継続時間と卓越周波数の関係から判定する[7]。また、高周波ノイズが含まれる場合の卓越周期の計算方法として、ノイズの平均振幅以上に振れた場合のゼロクロス回数を判定アルゴリズムに加えているほか、4次の整数演算だけで行えるIIRフィルタを使用したノイズ識別アルゴリズムが開発されている[8]（図３）。

このようなノイズ判定アルゴリズムを用いて内蔵地震計によりP波を検出した際、リングバッファ内

の地震記録をデータセンターに送信する。ここで送信される地震記録は開発当初は500Hzサンプリングのデータであったが、この方式ではバッファ内に30秒分の波形しか保存できないため、継続時間が長い地震では本震到達前の記録のみしか保存できない場合があった。従って、2013年10月以降は100Hzサンプリングのデータを送信するように変更を行った結果、最大180秒分の地震記録を保存できるようになった。

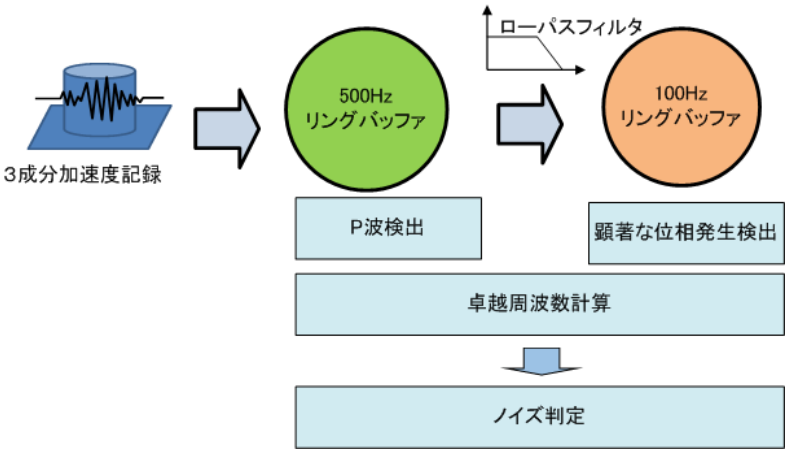

図３　ノイズ判定アルゴリズムの概略

このように、全国に設置されたホームサイスモメータの内蔵地震計により約７年間にわたり取得された多数の地震記録がデータセンター上に蓄積されている。防災科研ではこのような高密度観測記録を用いて都市域の高精度な地震被害推定等の研究目的に利活用するため、エイツーから地震記録の提供を受けた。ただし、この地震記録には端末設置場所の緯度・経度情報が付与されているものの、設置している建物の構造種別、階層、設置方法、周辺環境等が記載されていない。また、これらの記録には地盤や建物による増幅・減衰や設置環境、ノイズ等に起因する様々なばらつきがあるものと推定される。

例えば、2013年4月13日5時33分に発生した淡路島付近を震源とするM6.3の地震時に全国のホームサイスモメータにより取得された地震記録について、縦軸に計測震度（相当値）を、横軸に震源からの距離をとり、K-NETおよびKiK-netにより取得された記録と重ねてプロットした（図４）。図の黒、赤点線がそれぞれの最小二乗法近似曲線である。概ねトレンドが一致しているがホームサイスモメータによる計測記録のほうがデータのばらつきが大きいことが分かる。

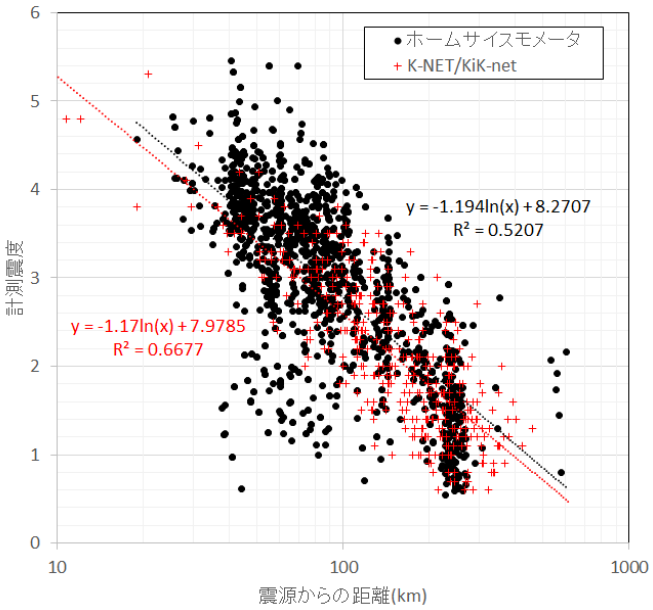

図４　内蔵地震計の記録と強震観測記録との比較(1)

しかし、都市部等、既存の強震観測施設に比べてホームサイスモメータの設置密度が多い地点においては、既存の強震観測データを補間するデータとして利用することにより、より詳細な被害状況の記録等に活用できる可能性があるものと思われる。例として、2011年7月5日19時18分に発生した和歌山県北部を震源とするM5.5の地震においてホームサイスモメータにより記録された震度分布を既設の強震観測点と重ね書きした（図５）。震源（図５の星印）近傍に多くの観測点が分布しており、また図４と同様のグラフをプロットすると既設の強震観測点よりも震源に近い地震記録が多数得られていることがわかる（図６）。

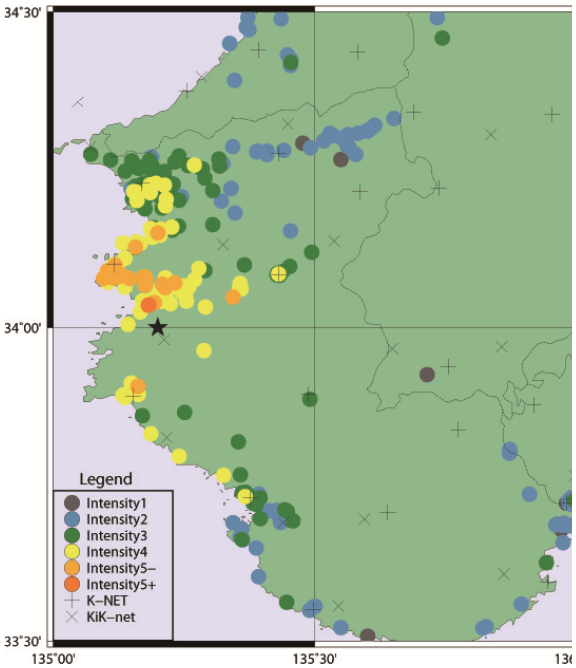

図５　震度（相当値）の分布

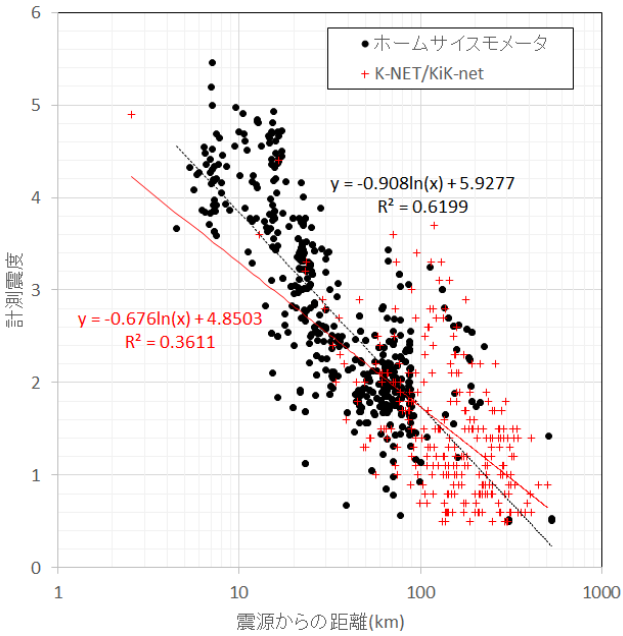

図６　内蔵地震計の記録と強震観測記録との比較(2)

3. 利活用に関するアンケート調査について

上記のように、ホームサイスモメータによって取得された多数の計測記録を研究目的で活用できる可能性があることがわかったが、設置されている建物等、データを利活用する上で必要な情報が不足している点は否めない。また、内蔵地震計を用いたリアルタイム地震情報配信システムの有効性についてはこれまで定量的な検証が実施されていない。

これらの課題を解決するため、ホームサイスモメータの全ユーザーに対してアンケート調査を実施することにした。アンケートは無料サービスであるGoogle Formsを用いてWeb上に作成し、エイツーが同報メールによって同社が提供するサービス「ホームサイスモ」全ユーザーに回答を依頼した。質問数は5分程度で回答終了できるように全21問とした。

2015年7月に回答期限を2週間としてアンケートを実施したところ、全端末数の約8%に相当する347件の回答が得られた。以下、この集計結果について記載する。

まず、端末設置方法については約85%が壁掛け、約15%が平置きで使用しており（図７）、端末固定方法については約96%がネジまたはテープにより固定している（図８）という回答が得られた。壁掛けが多いのはレイアウト上の都合と想像されるが、大多数が着実に固定されており、鉛直方向成分は波形の1Gオフセットから推定できるため、内蔵地震計の記録は設置場所の揺れを概ね反映しているものと思われる。

次に、設置している建物の階高については1～2階建てが約58%と多く、次いで3～5階建てが約31%、6階建て以上の高層・超高層建物は約11%であった（図９）。また、設置階については1階が大部分を占めていることがわかった（図10）。

また、設置している建物の構造についてはRC造が約38%、S造が約30%、SRC造が約19%、木造が約4%であった（図11）。さらに、建築年代については1980年以前が約27%、1981～2000年が約48%、2001年以降が約23%であった（図12）。また、設置建物の耐震改修については約44%が新耐震基準対応もしくは耐震改修済み、約2%が免震装置あり、約2%が制震装置ありと回答した（図13）。

また、ホームサイスモメータの利用者は法人が約96%、個人が約4%であり（図14）、業種別では多い順に製造業が約57%、教育・学習支援業が約14%、卸売・小売業が約4%、官庁・行政機関が約4%等であった（図15）。なお、利用者の従業員規模は約37%が100人以下、約32％が101～300人、約18%が301～999人であり、1000人以上は約13%であった（図16）。また、ホームサイスモメータ以外に緊急地震速報受信に利用している機器類としてはスマートフォン・携帯電話が最も多く、次にTV、ラジオ、PC・アプリの順であった（図17）。

他の緊急地震速報を利用したサービスと比較して優れていると考える点としては「試験放送機能」「内蔵地震計機能」「警報音・通知機能」「通知の速さ」の順で回答が多かった（図18）。また、導入理由としては「試験放送機能を防災訓練に利用するため」「内蔵地震計による通知の速さ」が最も多く、その他には「被害想定を受けて」「人からの紹介」「費用対効果」のほか、「端末設置が補助金対象になったため」という回答もあった（図19）。

また、システムの利用形態については単体での使用よりも「放送設備に出力」という回答が多数を占めた（図20）。さらに、活用方法としては「安全性確保」「避難訓練」「防災意識啓発」「事業継続」という回答が多かった（図21）。

ホームサイスモメータの試験放送機能を用いた避難訓練については約70%が年１回以上の頻度で実施していると回答しており（図22）、平常時から高い頻度で訓練を実施することで低頻度の地震被害に対する意識啓発につながるものと考えられる。さらに、サービス向上のために重要と考えることについては「より速報性の高い地震情報の配信」という回答が最も多く、リアルタイム地震情報配信の迅速化に対する技術開発に寄せる期待が大きいことが分かった（図23）。

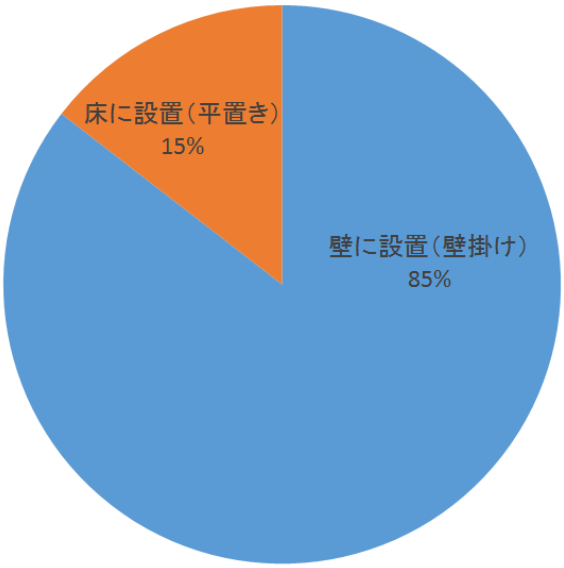

図７　設置方法

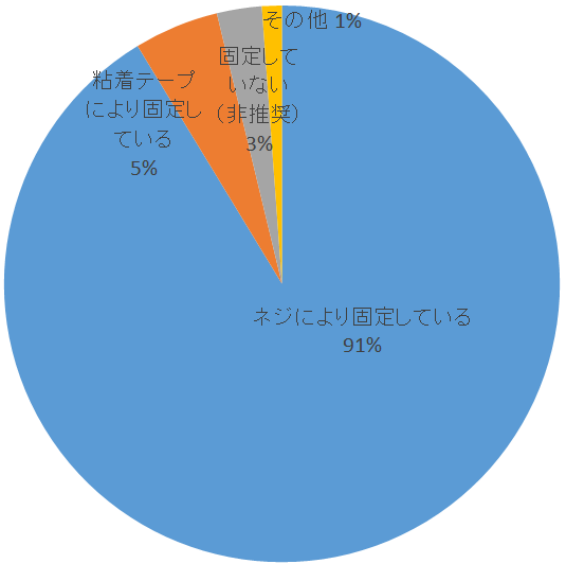

図８　固定方法

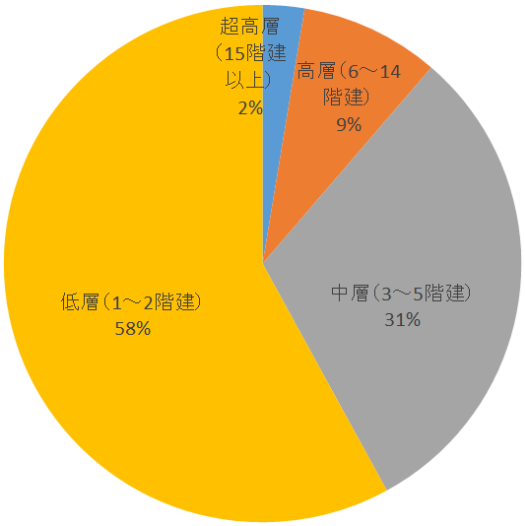

図９　設置建物の階高

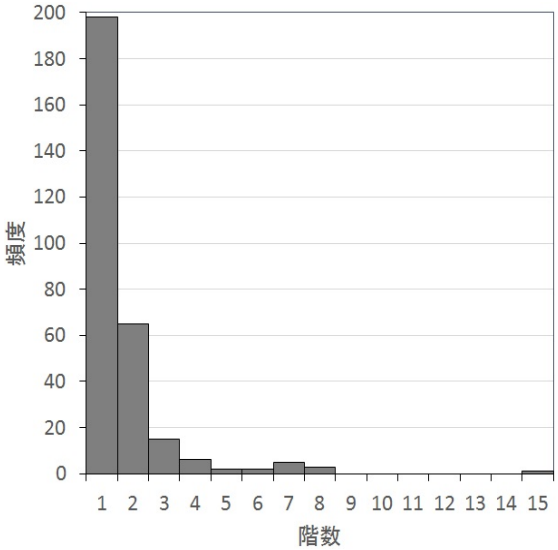

図10　設置階

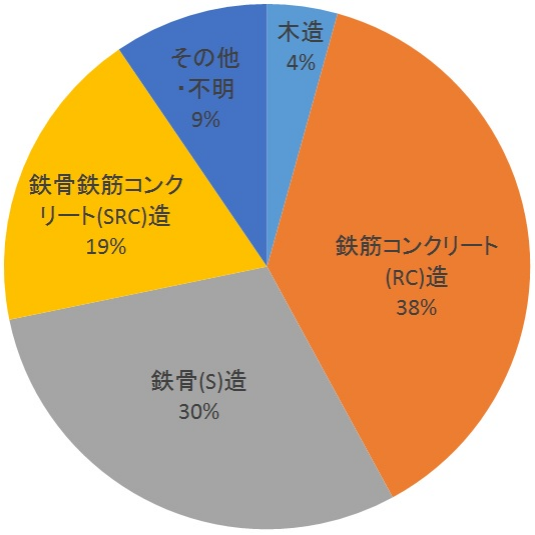

図11　設置建物の構造種別

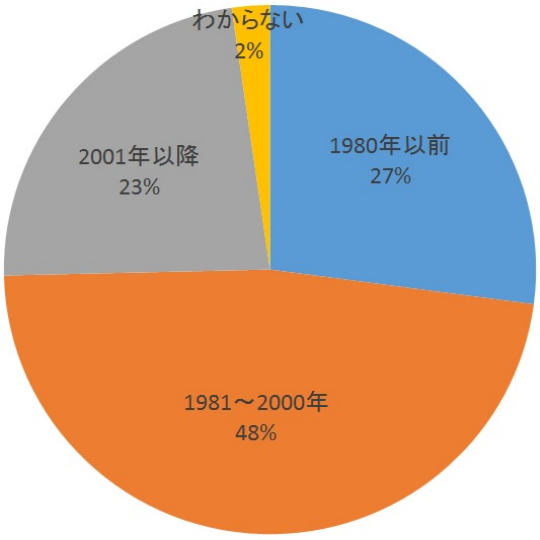

図12　設置建物の建築年代

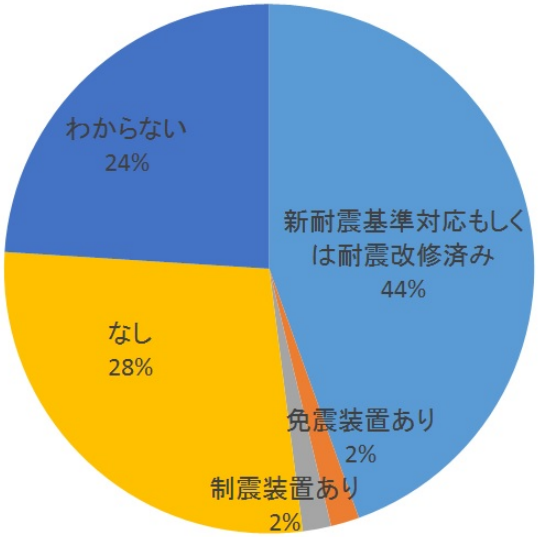

図13　設置建物の耐震改修の有無

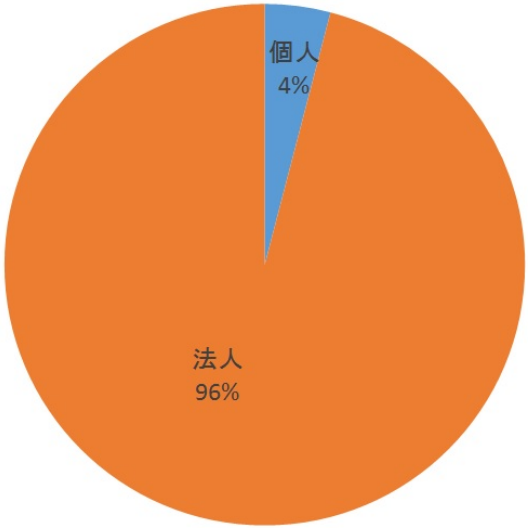

図14　利用者の区分

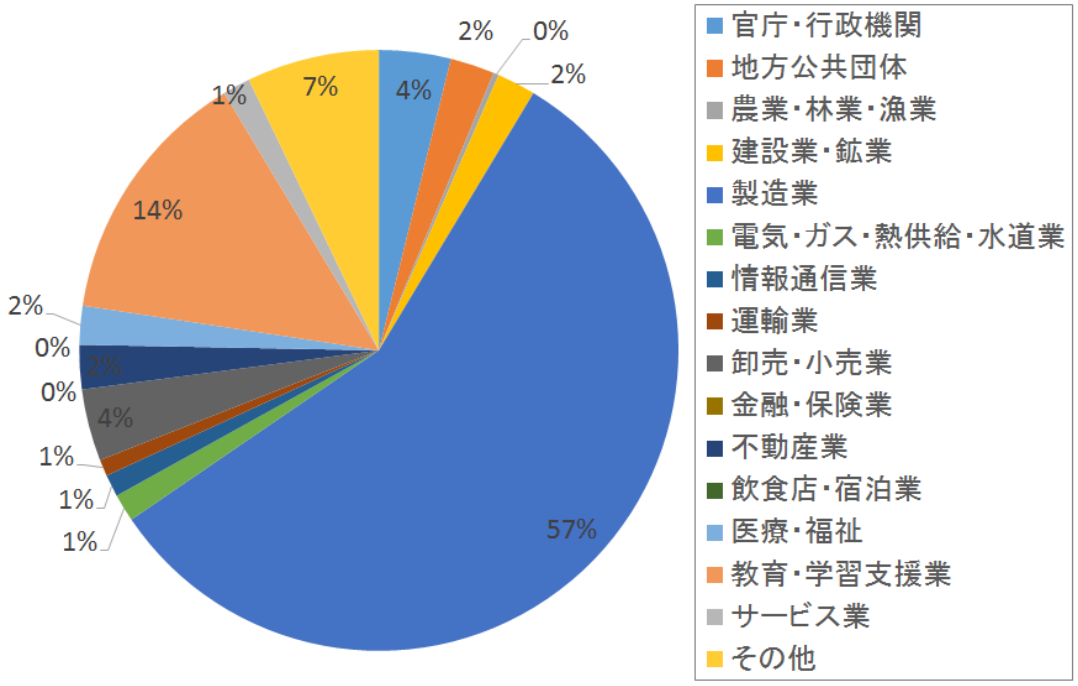

図15　利用者の業種

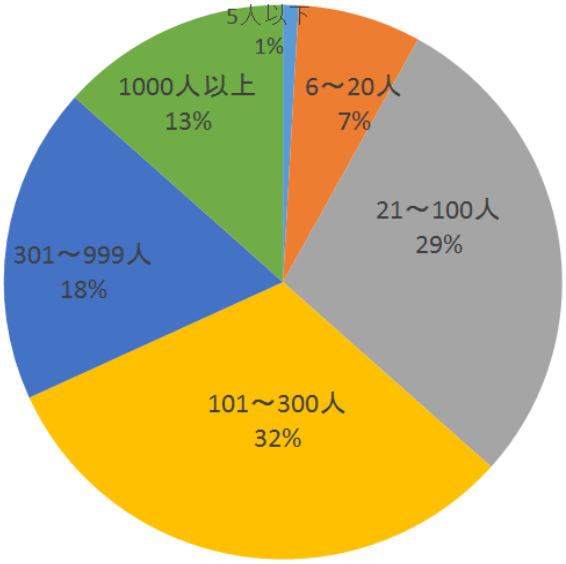

図16　利用者の従業員（生徒数）規模

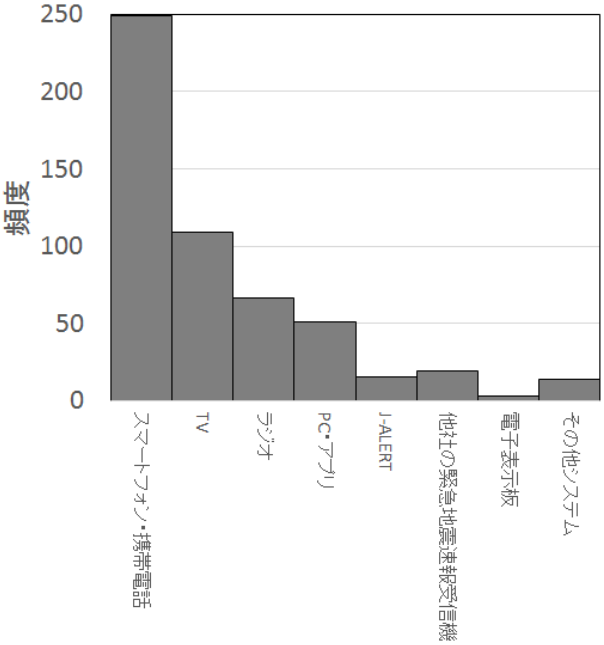

図17　他に利用している緊急地震速報受信機器

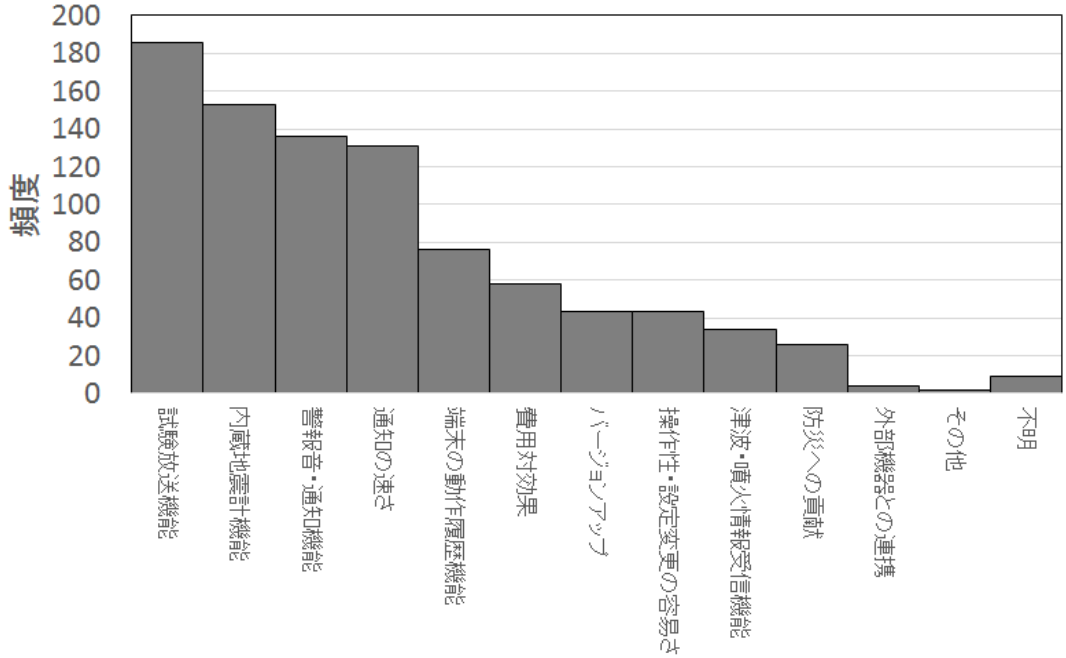

図18　他のサービスと比較して優れている点

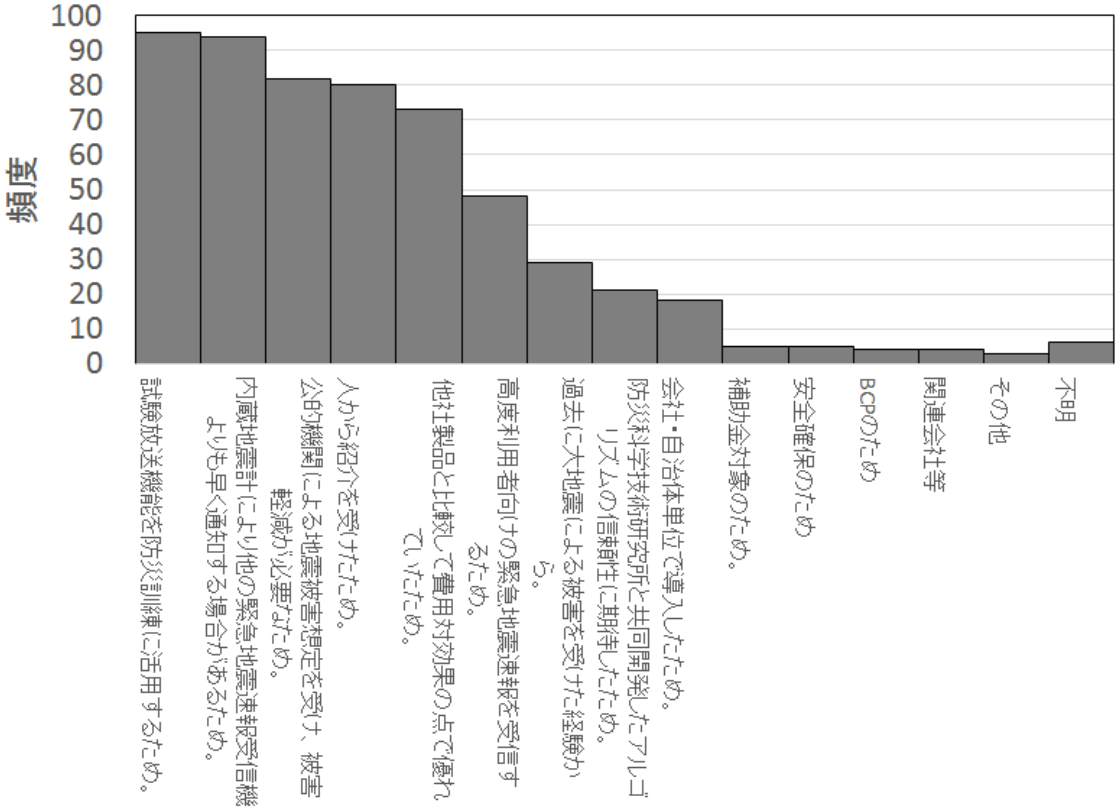

図19　導入理由

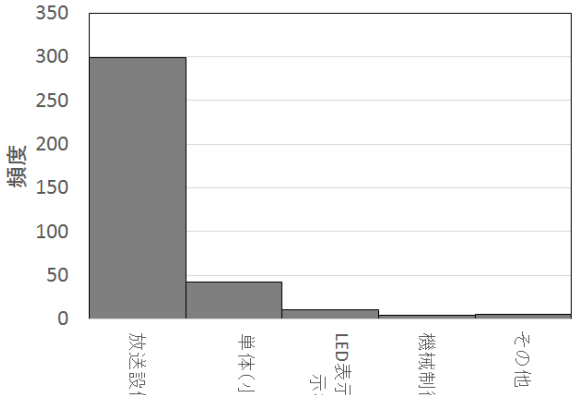

図20　利用形態

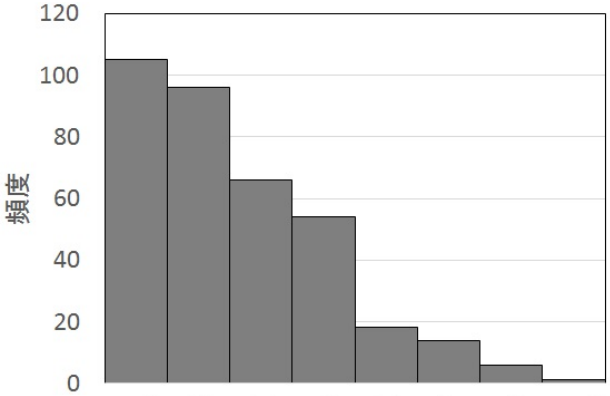

図21　活用方法

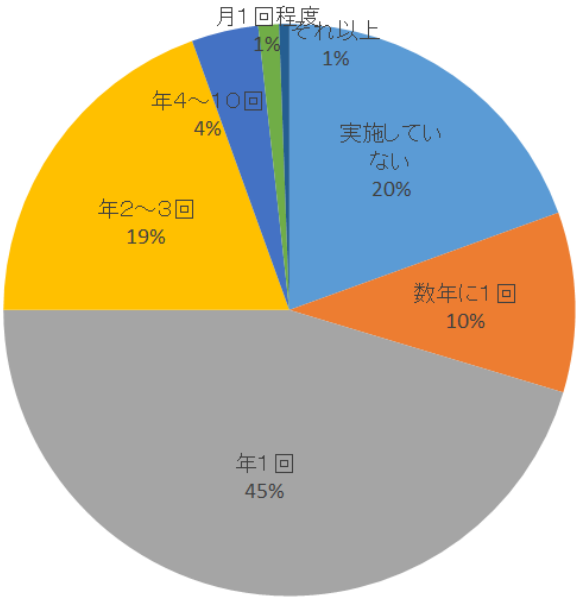

図22　避難訓練の実施頻度

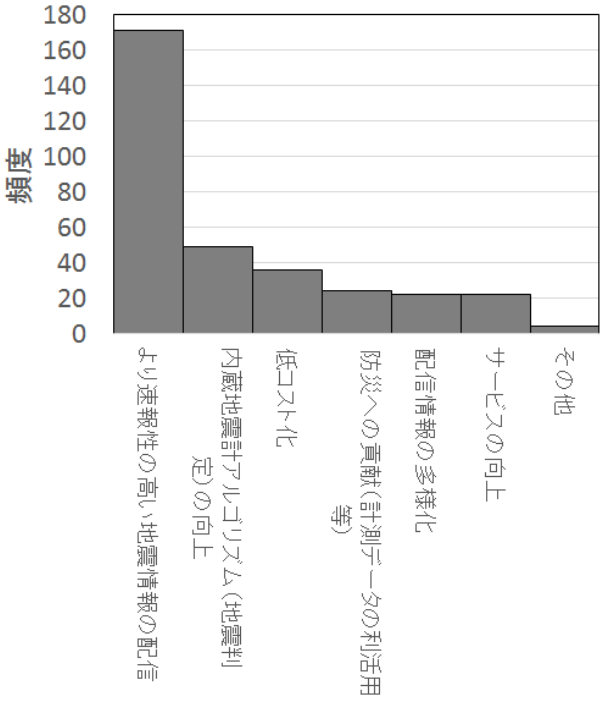

図23　今後のサービス向上のために望ましい点

4. まとめ

緊急地震速報受信装置に地震計を内蔵したホームサイスモメータは都市部を中心として普及し始めており、アンケート調査の結果から、製造業、卸売・小売業等の企業、あるいは学校・行政機関等の公的機関において、中低層建物の低層階を中心に設置され、従来よりも速報性の高いリアルタイム地震情報配信端末、あるいは訓練放送出力用端末として、安全確保、避難訓練、防災意識啓発に活用されており、

それを用いた避難訓練等にも積極的に活用されていることがわかった。また、利用者の要望として、さらに速報性の高い情報配信が最も求められていることがわかった。このような高密度な地震観測装置が記録したデータを有効活用することで、より迅速なリアルタイム地震配信や震源近傍の地震被害推定の高精度化等の技術開発に活用できる可能性があると考えられる。

一方、構造物内におけるセンシング・ヘルスモニタリング技術は様々な要素技術が開発されており、建築、土木、防災等様々な分野で応用が進みつつある。今後もこのような技術開発を進めていくことが重要であることは言うまでもないが、それとともに多点の計測装置が収集する大容量のデータをどのように効率的に利活用していくかについても議論していく必要があろう。

謝　辞

ホームサイスモメータ利活用に関するアンケート実施に際しては、ホームサイスモのユーザーの皆様にご協力頂いた。また、内蔵地震計データ取得、アンケートフォーム作成に際して株式会社エイツーのスタッフの方々にご協力頂いた。また、株式会社ホームサイスモメータの堀内茂木博士には研究を進める上で有益なアドバイスを頂いた。ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

1) 気象庁ホームページ：http://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/nc/index.html（2015年9月17日閲覧）

2) Shigeki Horiuchi et al. : Home seismometer for earthquake early warning, Geophysical Research Letters, Vol.36, No.5, L00B04, 2009.

3) Elizabeth S. Cochran, Jesse F. Lawrence, Carl Christensen, and Ravi S. Jakka: The Quake-Catcher Network: Citizen Science Expanding Seismic Horizons, Seismological Research Letters, Vol.80, No.1, 2009, pp.26-30.

4) 堀内茂木、山本俊六、中村洋光、呉長江、Rydelek Paul、加地正明、西村新吾、野原和宏：ホームサイスモメータ普及計画、日本地球惑星科学連合2007年大会.

5) 山本俊六、堀内茂木、中村洋光、呉長江、Rydelek Paul、加地正明、加地宏行、中原正二：ホームサイスモメータの製作とその機能、日本地球惑星科学連合2007年大会.

6) 中村洋光、山本俊六、堀内茂木、呉長江、藤原広行、西村新吾、野原和宏、加地宏行：ホームサイスモメータの測定性能と実住宅における実証実験の概要、日本地球惑星科学連合2008年大会.

7) 堀内茂木、山本俊六、Rydelek Paul、呉長江、中村洋光、加地正明、加地宏行、中原正二：ホームサイスモメータに組み込まれる地震とノイズ識別機能の開発、日本地球惑星科学連合2007年大会.

8) 堀内茂木、堀内優子、山本俊六、呉長江、中村洋光、加地正明、加地宏行、中原正二：ホームサイスモメータのための地震波とノイズとの識別機能の開発（２）、日本地球惑星科学連合2008年大会.