

平成 25 年度成果報告書

社会課題対応センサーシステムに関する検討

平成 26 年 3 月

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

(委託先) みずほ情報総研株式会社

『社会課題対応センサーシステムに関する検討』

委託先 みずほ情報総研株式会社

平成 26 年 3 月

(調査概要)

本調査は、センサシステムの活用により、社会インフラや健康医療、農業分野での我が国の社会的課題解決への寄与に向け、具体的にどのようなセンサシステムが求められているか、その課題や必要となる性能等を具体的に明らかにすることを目的に実施した。

社会インフラ・健康医療・農業分野の現状の国内外のセンサシステムの技術動向を調査し、各種センサシステムの特性、ニーズ、他の類似技術との比較検討などを実施し、現状のセンサシステムの課題・問題点の抽出、求められるセンサシステム像を明確にした。また、センサシステムを実用化、普及する上での課題を明らかにした。さらに、それらセンサシステムの普及により社会的課題解決に与える効果、インパクトを予測し、センサシステムの位置づけ、重要度を明確化した。最後に、三分野に寄与し、広く普及するためのセンサシステムに求められる共通課題を抽出するとともに、各分野の具体的な性能を示した。

目 次

1. 調査の目的と概要	1
1.1. 調査目的	1
1.2. 調査概要	1
1.3. 委員会構成、および委員会実施状況	1
1.3.1. 委員会構成	2
1.3.2. 委員一覧	3
1.3.3. 委員会、ワーキングの実施状況	6
1.4. ヒアリング一覧	10
2. 社会インフラ分野	12
2.1. 国内外のセンサシステムの技術開発動向	12
2.1.1. 国内外センサシステム事例集計	12
2.1.2. 海外センサシステム事例	14
2.1.3. センサシステム類似技術	21
2.1.4. 各種センサシステムの特性比較	26
2.2. 各社会インフラ分野におけるニーズ及び実用化等	29
2.2.1. 橋	31
2.2.2. トンネル	34
2.2.3. プラント施設	38
2.2.4. 公共・商用施設	40
2.3. センサシステムの効果、インパクト	41
2.3.1. 効果、インパクトの具体的項目および対象インフラ	41
2.3.2. 想定される効果、インパクトの検討	42
3. 健康医療分野	44
3.1. 国内外のセンサシステムの技術開発動向	44
3.1.1. 国内外センサシステム事例集計	44
3.1.2. センサシステム類似技術	46
3.1.3. 各種センサシステムの特性比較	47
3.2. 各健康医療分野におけるニーズ及び実用化等	49
3.2.1. 生活習慣病一次予防（健康増進・予防・未病分野）	51
3.2.2. 生活習慣病二次予防（健康増進・予防・未病分野）	53
3.2.3. 予後管理、リハビリ、介護（三次予防）	55
3.2.4. 見守り（福祉）	57
3.3. センサシステムの効果、インパクト	58
3.3.1. 効果、インパクトの具体的項目	58
3.3.2. 想定される効果、インパクト	58
4. 農業分野	60

4.1.	国内外のセンサシステムの技術開発動向	60
4.1.1.	国内外センサシステム事例集計	60
4.1.2.	海外センサシステム事例	62
4.1.3.	センサシステム類似技術	63
4.1.4.	各種センサシステムの特性比較	65
4.2.	各農業分野におけるニーズ及び実用化等	67
4.2.1.	農業分野における主な社会課題	67
4.2.2.	完全人工光型植物工場	69
4.2.3.	太陽光利用型植物工場・温室	71
4.2.4.	農場	74
4.2.5.	畜舎	76
4.3.	センサシステムの効果、インパクト	78
4.3.1.	効果、インパクトの具体的項目	78
4.3.2.	想定される効果、インパクト	78
5.	社会インフラ・健康医療・農業分野の共通課題	79
5.1.	共通技術課題の分析	79
5.2.	技術課題における各分野の具体例	80
5.2.1.	センシング対象	80
5.2.2.	小型（利用操作性）、高耐久性・高信頼性	80
5.2.3.	自立電源、通信（無線）、データ処理	81
5.3.	データ利活用における課題	84

要 約

<和 文>

本調査は、センサシステムの活用により、社会インフラや健康医療、農業分野での我が国の社会的課題解決への寄与に向け、具体的にどのようなセンサシステムが求められているか、その課題や必要となる性能等を具体的に明らかにすることを目的に実施した。

社会インフラ・健康医療・農業分野の現状の国内外のセンサシステムの技術動向を調査し、各種センサシステムの特性、ニーズ、他の類似技術との比較検討などを実施し、現状のセンサシステムの課題・問題点の抽出、求められるセンサシステム像を明確にした。また、センサシステムを実用化、普及する上での課題を明らかにした。さらに、それらセンサシステムの普及により社会的課題解決に与える効果、インパクトを予測し、センサシステムの位置づけ、重要度を明確化した。最後に、三分野に寄与し、広く普及するためのセンサシステムに求められる共通課題を抽出するとともに、各分野の具体的な性能を示した。

<英 文>

This survey has been conducted for the purpose of:

Clarification of needs, issues, and performances for sensor systems

Solutions of our social problems in the field of social infrastructure, health care, and agriculture by using sensor systems

A detailed description of the survey:

Current technology trends in Japan and other countries for sensor systems in the field of social infrastructure, health care, and agriculture

Characteristics and needs of sensor systems

Comparisons of sensor systems with similar technologies

Current issues and problems of sensor systems

- Clarify the tasks toward to practical and widespread use of the sensor system
- Clarify the importance and positioning of the sensor system, considering how the spread of the system will give impact and effect to our social issues.
- Clarify the specific advantage for our social issues.

1. 調査の目的と概要

1.1. 調査目的

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構では「社会課題対応センサシステム開発プロジェクト」において、センサネットワークに使用されるセンサデバイスの共通的な課題である、無線通信機能、自立電源機能及び超低消費電力機能の搭載を実現する革新的センサの開発を行い、センサネットワークの導入によるエネルギー消費量等の把握（見える化）及びエネルギー消費量の制御（最適化）により、低炭素社会の実現に寄与することを目指している。

こうしたセンサシステムは、上記の省エネ分野に加え、同じく我が国の喫緊の社会的課題である、社会インフラや健康医療、農業分野等においても、課題解決に向けての寄与が期待されるところである。

このため、センサシステムの活用による、社会インフラや健康医療、農業分野での社会的課題解決への寄与に向け、具体的にどのようなセンサシステムが求められるか、その課題や必要となる性能等を具体的に明らかにするための調査を実施する。

1.2. 調査概要

（調査項目 1）社会インフラ、健康医療、農業の各課題解決に資するセンサシステム関連調査

社会インフラ、健康医療、農業の各課題解決に資する現状の国内外のセンサシステムの技術開発動向を網羅的に調査し、各種センサシステムの特性（性能、経済性、使用条件等）比較、ニーズ調査、他の技術との比較検討などを実施し、現状のセンサシステムの課題・問題点の抽出、求められるセンサシステム像の明確化を行う。

（調査項目 2）センサシステムの実用化、普及、制度・規制に関する調査

調査項目 1 におけるセンサシステムを実用化、普及させるための方法を検討する。その際、技術的課題以外の、制度・規制に関する課題なども明らかにする。

（調査項目 3）センサシステムの効果、インパクト、位置づけ、重要度に関する調査

調査項目 2 におけるセンサシステムの普及によって、社会課題解決にどの程度の効果、インパクトがあるかを予測する。その際、各課題の中でのセンサシステムの位置付け、重要度を明確化する。

（調査項目 4）センサシステムに求められる共通課題、性能に関する調査

調査項目 1～3 を踏まえて、社会インフラ、健康医療や農業分野等において寄与し、広く普及するためのセンサシステムに求められる共通課題を抽出するとともに具体的な性能を提示する。

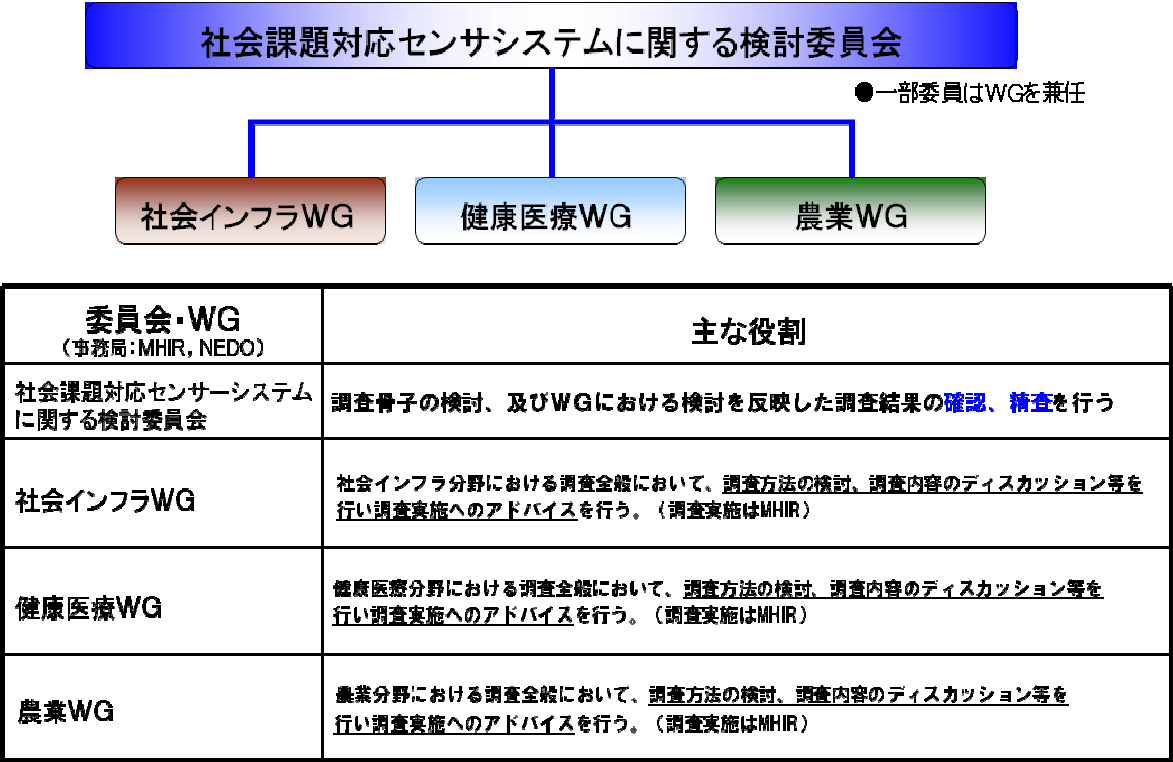
1.3. 委員会構成、および委員会実施状況

調査実施にあたり、「社会課題対応センサーシステムに関する検討委員会」と社会インフラ、健康医療、農業分野ごとワーキンググループを設置し、調査を行った。

1.3.1. 委員会構成

以下図表 1.1 に、委員会、ワーキンググループ構成と役割を示す。

図表 1.1 委員会、ワーキンググループ構成と役割



1.3.2. 委員一覧

以下図表 1.2 に「社会課題対応センサーシステムに関する検討委員会委員一覧」、および図表 1.3 に社会インフラ、図表 1.4 に健康医療、図表 1.5 に農業分野ワーキンググループの委員一覧を示す。

■社会課題対応センサーシステムに関する検討委員会

図表 1.2 社会課題対応センサーシステムに関する検討委員会委員一覧

※氏名は50音順(委員長、ワーキンググループ兼務委員は除く)			
氏名	所属	役職	備考
大久保 雅隆	独立行政法人 産業総合研究所 つくばイノベーションアリーナ推進本部	上席イノベーションコーディネータ	委員長
大和田 邦樹	帝京大学 理工学部 情報科学科	教授	
藤田 博之	東京大学 生産技術研究所 マイクロナノメカトロニクス国際研究センター	センター長	
藤巻 真	独立行政法人 産業技術総合研究所 電子光技術研究部門	主任研究員	
前田 龍太郎	独立行政法人 産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター	センター長	
鷲田 祐一	一橋大学 商学研究科	准教授	
藤野 陽三	東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構	特任教授	社会インフラ分野WG長
内田 充	一般財団法人 石油エネルギー技術センター(JPEC) 技術企画部	主任研究員	社会インフラ分野WG
横塚 雅実	鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木技術部	部長	社会インフラ分野WG
日吉 和彦	財団法人 医療機器センター附属 医療機器産業研究所	上級研究員	健康医療分野WG長
後藤 英司	千葉大学大学院 園芸学研究科 環境園芸学専攻	教授	農業分野WG長

■社会インフラWG

図表 1.3 社会インフラ分野ワーキンググループ委員一覧

※氏名は50音順(ワーキンググループ長、委員会兼務委員は除く)		
氏名	所属	役職
<WG長> 藤野 陽三	東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構	特任教授
内田 充	一般財団法人 石油エネルギー技術センター(JPEC) 技術企画部	主任研究員
横塚 雅実	鹿島建設株式会社 土木管理本部 土木技術部	部長
飯田 憲司	日本電気株式会社	マネジャー
今仲 行一	技術研究組合 NMEMS技術研究機構	理事長
風間 博之	NTTデータ株式会社	室長
鷹野 秀明	日立製作所株式会社	主任研究員
中島 邦雄	特定非営利活動法人 ナノフォニクス工学推進機構	担当部長

■健康医療WG

図表 1.4 健康医療分野ワーキンググループ委員一覧

※氏名は50音順(ワーキンググループ長は除く)		
氏名	所属	役職
<WG長> 日吉 和彦	財団法人 医療機器センター附属 医療機器産業研究所	上級研究員
唐木 幸一	オリンパス株式会社	執行役員
小池 智之	技術研究組合 NMEMS技術研究機構	主幹研究員
新藤 幹雄	株式会社タニタ	部長

■農業WG

図表 1.5 農業分野ワーキンググループ委員一覧

※氏名は50音順(ワーキンググループ長は除く)		
氏名	所属	役職
<WG長> 後藤 英司	千葉大学大学院 園芸学研究科 環境園芸学専攻	教授
栗津 浩一	独立行政法人 産業技術総合研究所 電子光技術研究部門	副部門長
伊藤 寿浩	独立行政法人 産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター	副研究センター長
武田 宗久	技術研究組合 NMEMS技術研究機構	副所長
星 岳彦	近畿大学 生物工学部生物工学科	教授

1.3.3. 委員会、ワーキングの実施状況

委員会、ワーキング開催状況を時系列に示す。

● 第1回 社会課題対応センサーシステム検討委員会

インプット	検討事項	アウトプット
✧ 調査全体概要説明 ✧ 国内センサシステム事例 ✧ 国内事例のニーズ、課題 ✧ 関連する制度、規制 ✧ センサシステムの効果、インパクト 等	◆ 調査の進め方 ◆ 国内事例の分析 ◆ 制度、規制の分析、検討 ◆ センサシステムの効果、インパクトの精査、検討	➤ 調査実施の注意点 ➤ 国内事例の整理方法 ➤ 制度、規制の整理方法 ➤ センサシステムの効果、インパクトの追加調査項目

● 第1回 健康医療 WG

インプット	検討事項	アウトプット
✧ 調査全体概要説明 ✧ 第一回委員会状況報告 ✧ 先導研究内容紹介 ✧ 健康医療分野における国内センサシステム事例 ✧ 健康医療分野のヒアリング報告 ✧ 健康医療分野のセンサシステムの効果、インパクト ✧ 健康医療分野の経済的損失に関する事例 等	◆ 調査の進め方 ◆ 国内事例の分析 ◆ ヒアリング内容の精査 ◆ 効果、インパクトの分析	➤ 調査実施の注意点 ➤ センサシステムニーズ整理 ➤ ヒアリング事例の整理 ➤ ヒアリング追加候補 ➤ センサシステムの効果、インパクトの事例分析結果

● **第1回 社会インフラ WG**

インプット	検討事項	アウトプット
✧ 調査全体概要説明 ✧ 第一回委員会状況報告 ✧ 先導研究内容紹介 ✧ 社会インフラ分野における国内センサシステム事例 ✧ 社会インフラ分野のヒアリング報告 ✧ 社会インフラ分野のセンサシステムの効果、インパクト ✧ 社会インフラ分野の経済的損失に関する事例 等	◆ 調査の進め方 ◆ 国内事例の分析 ◆ ヒアリング内容の精査 ◆ 効果、インパクトの分析	➤ 調査実施の注意点 ➤ センサシステムニーズ整理 ➤ ヒアリング事例の整理 ➤ ヒアリング追加候補 ➤ センサシステムの効果、インパクトの事例分析結果

● **第1回 農業 WG**

インプット	検討事項	アウトプット
✧ 調査全体概要説明 ✧ 第一回委員会状況報告 ✧ 先導研究内容紹介 ✧ WG 長センサシステムニーズ分析報告 ✧ 星委員農業分野のセンサ活用事例紹介 ✧ 農業分野における国内センサシステム事例 ✧ 農業分野のヒアリング報告 ✧ 農業分野のセンサシステムの効果、インパクト ✧ 農業分野の経済的損失に関する事例 等	◆ 調査の進め方 ◆ 国内事例の分析 ◆ ヒアリング内容の精査 ◆ 効果、インパクトの分析	➤ 調査実施の注意点 ➤ センサシステムニーズ整理 ➤ ヒアリング事例の整理 ➤ ヒアリング追加候補 ➤ センサシステムの効果、インパクトの事例分析結果

● 第2回 社会インフラ WG

インプット	検討事項	アウトプット
✧ 第一部：先導研究中間報告 ✧ イメージング技術紹介 ✧ 社会インフラ分野の海外センサシステム事例紹介 ✧ 社会インフラ分野の追加ヒアリング報告 ✧ COCN、国交省の検討状況紹介 等	◆ 海外事例の分析 ◆ ヒアリング内容の精査 ◆ 整理表内容分析 ◆ 研究開発内容の精査	➤ 海外事例の精査 ➤ ヒアリング事例の整理 ➤ 整理表精査結果

● 第2回 健康医療 WG

インプット	検討事項	アウトプット
✧ 第一部：先導研究中間報告 ✧ 健康医療分野の海外センサシステム事例紹介 ✧ 健康医療分野の追加ヒアリング報告 ✧ 調査結果整理報告 等	◆ 海外事例の分析 ◆ ヒアリング内容の精査 ◆ 整理表内容分析	➤ 海外事例の精査 ➤ ヒアリング事例の整理 ➤ 整理表精査結果

● **第2回 農業 WG**

インプット	検討事項	アウトプット
✧ 第一部：先導研究中間報告 ✧ 農業分野の海外センサシステム事例紹介 ✧ 農業分野の追加ヒアリング報告 ✧ 調査結果整理報告 等	◆ 海外事例の分析 ◆ ヒアリング内容の精査 ◆ 整理表内容分析	➤ 海外事例の精査 ➤ ヒアリング事例の整理 ➤ 整理表精査結果

● **第2回 社会課題対応センサーシステム検討委員会**

インプット	検討事項	アウトプット
✧ 調査全体進捗報告 ✧ 三分野進捗報告 ✧ 報告書【暫定版】 ✧ 三分野共通課題（案） 等	◆ 三分野調査結果の精査 ◆ 三分野共通課題の検討	➤ 報告書【暫定版】の検収 ➤ 三分野共通課題の追加検討検討箇所

1.4. ヒアリング一覧

調査の手法として、センサシステムを使用されるユーザへのヒアリングを、以下、図表 1.6 に基づきヒアリングを実施した。ただし、ヒアリング項目はヒアリング先の状況（センサシステムの活用実績がないユーザ等）に応じて内容を変更してヒアリングを行った。

図表 1.6 ヒアリング項目

項目	具体的質問項目
1. 対象について	➤ 測定対象について ➤ 測定目的について
2. 現状について	➤ 測定項目（何を測定しているか？何を使って？） ➤ 現状の測定精度（どれくらいの時間間隔で？精度は？） ➤ 測定点（測定点数は？測定空間間隔は？） ➤ データ収集量（サーバに保管？どれくらいのデータ量？） ➤ 通信方法（有線？無線？通信しない？） ➤ 現状の課題？（測定上の課題、データ処理・分析上の課題等）
3. センサシステムへの要望	➤ 現状の測定項目に関する要望（高精度化、小型化、省エネ化等） ➤ 新規で測定したい項目等 ➤ センサ以外の代替技術について ➤ センサシステム化に際する要望 ➤ データ理・画像処理・分析・可視化等に関する要望 ➤ センサシステム化に際しての課題
4. 法規制等の課題	➤ センサシステムの導入に際して課題となる可能性のある法規制 ➤ 対象分野特有の制限
5. 国内外での技術動向	➤ 注目している国内外のセンサシステム技術 ➤ 注目している国内外の施策等

以下に社会インフラ、健康医療、農業分野毎、ヒアリング件数とヒアリング分野を示す。

【社会インフラ分野】

- ヒアリング件数：13 件
- ヒアリング分野：衛星リモートセンシング、プラント・パイプライン、高速道路管理、インフラモニタリング、ビル設備モニタリング、公共インフラ、幹線道路モニタリング・高密度面パターンセンシング、トンネルモニタリング、ガス、化学プラント全般、鉄道、自治体管理インフラ

【健康医療分野】

- ヒアリング件数：3 件
- ヒアリング分野：在宅医療、循環器系バイタルモニタリング、健康組合取り組み

【農業分野】

- ヒアリング件数：3 件
- ヒアリング分野：微生物学、完全人工光植物工場、肉用牛肥育

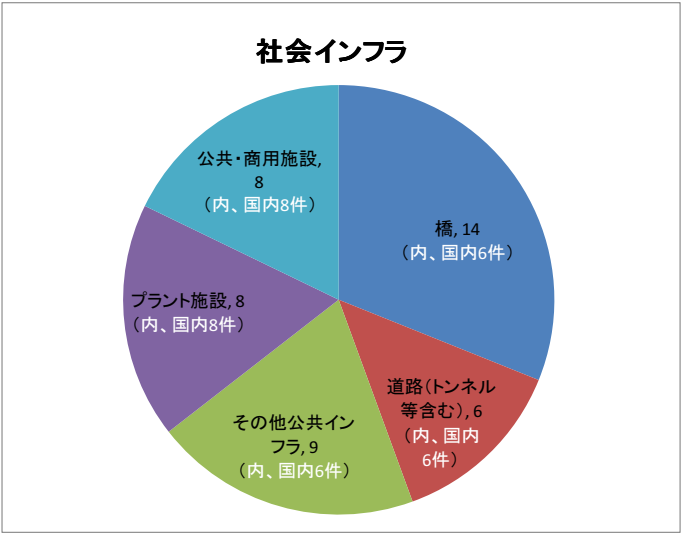
2. 社会インフラ分野

2.1. 国内外のセンサシステムの技術開発動向

2.1.1. 国内外センサシステム事例集計

Web 等で調査した社会インフラ分野の国内外センサシステム関連情報を、センサシステムの対象ごとの橋、道路（トンネル等も含む）、その他公共インフラ（河川、斜面等）、プラント施設、公共・商用施設の 5 項目で整理した結果を図表 2.1 に示す。国内外で橋が 14 件（内、国内が 6 件）、道路（トンネル等も含む）が 6 件（全て国内事例）、その他公共インフラ（河川、斜面等）が 9 件（内、国内が 6 件）、プラント施設が 8 件（全て国内事例）、公共・商用施設が 8 件（全て国内事例）であった。

図表 2.1 国内外センサシステム事例の分野毎の件数



また、センサシステム活用において利用目的において多かった災害、工場設備保全・環境モニタリング、工程管理の 3 項目について、その事例の一部を以下、図表 2.2 に示す。

図表 2.2 利用目的が多い事例の一部紹介

災害	● 自然災害（水害が中心）探知用のセンサネットワーク ● 花粉飛散状況、温湿度、風向風速、降水量などの気象データ、河川水位、遠隔画像、積雪深さ、浸水状況、土壌水分、振動など ● 自治体や国交省地方整備局への導入実績あり
工場設備保全・環境モニタリング	● 温度、湿度、圧力、電流、電圧、振動、排ガス、ガス流量、水質など、工場内設備や周辺環境のモニタリング ● 空調に特化したモニタリングシステム

	● 建設機械（車両）情報の遠隔管理 ● 食品工場などでは衛生管理にも活用 ● 1km 間隔で端末を設置し、マルチホップにより約 10km 四方をカバーするシステムも存在（免許不要）
工程管理	● 大部分が RFID ● RFID はパッシブタイプ（電池非内蔵）、アクティブタイプ（電池内蔵）の双方が選択可能 ● 導入実績として医薬品の安全性確保を目指すための温度トレーサビリティシステムなど

2.1.2. 海外センサシステム事例

Web 等で海外センサシステム事例を収集した結果を、以下、図表 2.3 に示す。

また、事例一覧で背景を黄色で示した「青馬大橋」の事例の詳細を後述した。また、NIST（National Institute of Standards Technology:米国立標準技術研究所）による技術革新プログラムで実施されたインフラ関連プロジェクトも紹介する。

図表 2.3 海外センサシステムの事例一覧

分野	研究・実証機関	機関国籍	フェーズ	プロジェクト名	導入先	目的	センシング対象(物理量等)	システム化	センサー設置状況	特徴	参考文献等
橋	香港理工大学	香港	研究開発	—	青馬大橋(香港)	・構造健全性のモニタリング	・風速 ・歪み(ケーブル、支承、フレーム)	—	・FBG(ファイバ・ブラッグ・グレーティング:光ファイバの歪みによるブラッグ波長の変化を検出原理とした)センサを利用 ・センサー数 32(1ファイバーあたり8個) ・ファイバの取り付け箇所は、ロッカーベアリング、フレーム、吊ケーブル	・計測の分解能は $1\mu\varepsilon$ 、最大検出周期は 20Hz(1秒間に20回)	”Dynamic load monitoring the Tsing Ma Bridge using a high-speed FBG sensor system
橋	ロスアラモス国立研究所	USA	研究開発	—	アラモサキャニオン(米国)	・振動による損傷の検出 ・測定方法や測定条件などの損傷以外の要因のモードパラメータ(固有振動数、振動モード、減衰係数等)への影響を研究 ・ワイヤレスセンサの利用のため、AUV(無人飛行機)から RF でセンサに送電、センサから情報を収集するためのシステム検証	・振動(固有振動数、振動モード、減衰係数等) ・変位、歪み、応力	・AUV(無人飛行機)を用いた、センサノードへの送電、センサノードからのセンシング情報の収集	—	・ワイヤレス通信規格は、Zigbee もしくは 802.11g を利用 ・送電は、2.5GHz 帯の RF を利用	■”Structural Health Monitoring Studies of the Alamosa Canyon and I-40 Bridges”(Los Alamos National Lab 報告書) ■”Wireless Sensor Technologies for Monitoring Civil Structures”(Sound and Vibration/APRIL 2008), pp.16-20)
橋	カリフォルニア大学パークレイ校	米国	研究開発	—	ゴールデン・ゲート橋(米国)	・橋梁の健全性のモニタリングのためのワイヤレスセンサネットワーク構築 ・信頼性の高い振動データを低コストで得ること	・振動	・データ収集システム ・PC をベースとしたワイヤレスネットワークシステム	・64 ノード(加速度センサ 128 チャンネル、温度センサ 64 チャンネル)を設置	・振動検出には加速度センサを利用 ・NSF のグラントによる研究	■”地震モニタリングに向けた高精度分散同期サンプリング”(社団法人電子情報通信学会 信学技報) ■”Health Monitoring of Civil Infrastructures Using

分野	研究・実証機関	機関 国籍	フェーズ	プロジェクト名	導入先	目的	センシング 対象(物理 量等)	システム化	センサー設置状況	特徴	参考文献等
											Wireless Sensor Networks”, Proceedings of IPSN07, pp.254-263
橋	イリノイ大学	米国	研究 開発	—	—	・橋梁の健全性のモニタリングシステムの構築のための高信頼度かつ安価なセンサーノード、処理ソフトウェアの提供	—(情報なし)	—	—	・Intel Imote2 センサーを利用したモニタリングシステムのプロトタイプを作製 ・損傷診断等のためソフトウェアライブラリを提供 ・NSF のグラントによる研究	http://shm.cs.uiuc.edu/
橋	国家地震 工程研究 センター	台湾	研究 開発	—	集鹿大橋(台湾)	・吊橋のケーブルの健全度の確認	・ケーブルの張力 ・吊橋の桁の水準	—	・FBG センサを利用	・研究レベルであるが、台風の下でのケーブルの振動状況により、ケーブルの不安定性が確認されている	■ “Structural assesment of a repaired cable bridge damaged in 1999 Chi-chi earthquake”, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lesson Learned for the 2011 Great East Japan Earthquake, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan, pp.1822-1833.
橋	ジョージア工科大学	米国	研究 開発	—	—	・インフラの遠隔監視を安価で容易にするための技術開発 ・亀裂形成の検知を行うための技術開発	・歪み ・応力 ・亀裂形成、等	—	—	・ポリマー等の基板上にインクジェット法等により印刷プロセスで製造可能なセンサの設計 ・フレキシブルで、どこにでも設置可能なセンサノードの構築 ・歪みの大きさは、ひずみとともにセンサのアンテナ構造の変化に伴う応答変化の大きさにより検知 ・センサノードへのエネルギーハーベスティングについても検討されている・	http://www.cee.vt.edu/news/spotlights/Roberto_CivilEngineeringMagazine.html http://www.gtresearchnews.gatech.edu/wireless-smart-skin-sensors-monitor-infrastructure/
橋	LORD Microstrain	米国	製品 導入	—	当該企業の製品は、ベンジャミン・フランクリン橋、グレート・ロード・ステート橋、ゴールド・スター橋、コリント	・構造健全性のモニタリング ・導入の手間、コストの低減、システムの導入作業で橋の供用が中断されないというメリットの提供	・振動 ・変位 ・温度 ・歪み	・大量のセンサーノードによるワイヤレスモニタリング ・大量のデータを処理し、適切なメンテナンス作業につなげるために、クラウド	—	・センサノードの消費電力を抑えるため、データを計測しないときはスリープモードとなる ・リアルタイムでのモニタリングシステムの環境設定、管理・保守が可能	http://www.microstrain.com/applications/civil-engineering

分野	研究・実証機関	機関国籍	フェーズ	プロジェクト名	導入先	目的	センシング対象(物理量等)	システム化	センサー設置状況	特徴	参考文献等
					ス運河橋、等、 多くに導入実績がある			ベースのデータ管理システムを提供			
橋	Resensys	米国	製品導入	—	—(情報なし)	・構造健全性のモニタリング ・モニタリングシステムの低コスト導入・運用、長期耐久性、簡易な導入を目指している	・歪み ・振動 ・傾き ・歪み ・湿度 ・温度	・システムはセンサノード(SenSpot)、データ収集用デバイス(SeniMax)、データ集計等の管理ツール(SenScope)で構成する	・最大 1000 個のセンサノードの設置が可能	・データ通信用の機器は太陽電池で動作可能 ・ワイヤレス通信は、IEEE802.15.4(ノード間のデータ送受信)、CDMA、GPRS(管理センターとの遠隔通信) ・データ処理としては、リアルタイムでのデータの可視化・管理、ユーザの閾値設定による警告発生、データ履歴の管理、などが可能	http://www.resensys.com/
その他公共インフラ	National Research Council Canada	カナダ	実証	Wireless Sensor Networks for Real-Time Continuous Monitoring and Assessment of Water and Wastewater Pipes	レジェイナ市の上下水道管	・上下水道管の漏れや破損の検知 ・効率的な上下水道の運用・保守のための支援	・流速(下水道) ・振動(水の漏れ)(上水道)	・無線通信(センシングデータを中央サーバーに送信) ・漏れの検出のための振動パターン解析ソフトウェア	・センサーは上下水道管に設置 ・センサネットワークの規模は市が管理する上下水道管全体	・大規模実時間デモニタリング ・低コスト化を実現している	NRC ホームページ http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/dimensions/issue1/wirelessensors.html
											http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/irc/waste-water.html
	・ケンブリッジ大学 (Centre for Smart Infrastructure and Construction)	英国	研究開発	Smart Infrastructure	・地下鉄(ロンドン) ・上下水道(ヨークシャー市) ・道路(英国道路庁)	・工事現場での環境状態(騒音やダスト)のモニタリング ・上下水道管の漏れや破損の検知 ・トンネルや橋のモニタリング(傾きや変位、歪み、振動)と警告発信	・歪み ・変位 ・振動、ノイズ ・傾き	・車両に搭載されたデジタルカメラのトンネル表面の画像データの遠隔地への送信・解析(亀裂の検知) ・光ファイバーによる歪みデータの解析	・光ファイバーセンサ(インフラ表面、及びインフラへの埋め込み)	・振動によるエネルギーハーベスティングの研究開発についても行っている	http://www-smartinfrastucture.eng.cam.ac.uk/

分野	研究・実証機関	機関国籍	フェーズ	プロジェクト名	導入先	目的	センシング対象(物理量等)	システム化	センサー設置状況	特徴	参考文献等
その他公共インフラ	—	オランダ	研究開発	Next generation infrastructures	Next generation infrastructures	・上水道の水質管理 ・上水道館の漏れ、破損の予測	・水圧 ・流量	・配管の漏れや破損の予測のためのモデル開発(実時間でのシミュレーション) ・シミュレーションは、貯水槽の状況、流量、圧力、ポンプの稼働状況を考慮	—	・水道管網中でのセンサーネットワークの利用に向けたエネルギーハーベスティングに関する研究開発を実施(エネルギー源の検討、エネルギーハーベスティングの挙動予測、連続モニタリングのためのセンサーノードの性能最適化)	http://www.nextgenerationinfrastructures.eu/

—事例 1「青馬大橋（香港）」—

ファイバ・ブラッグ・グレーティングを利用した構造健全性モニタリング

■ インフラの概要

- ・建設年：1997 年
- ・全長：2,160m
- ・方式：鋼線によるつり橋
- ・区間：青衣島～馬湾島
- ・特徴：吊り橋として世界で 6 番目の規模、道路鉄道併用橋としては世界一の長さ

■ センサ導入状況

- ・香港理工大学による研究開発
- ・ファイバ・ブラッグ・グレーティングセンサを利用
- ・橋梁の支柱部分、フレーム、ケーブル等の歪みをモニタリング

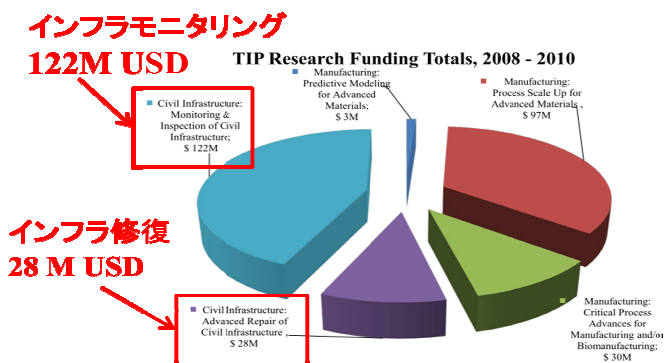
—事例 2「TIP (Technology Innovation Program)」—

国家にとって重要でかつ、革新的、ハイリスク・ハイリターンな研究分野への投資

■ TIP 概要

- ・NIST (National Institute of Standards Technology: 米国立標準技術研究所) による技術革新プログラム
- ・対象：インフラ（モニタリング、修復）、製造技術（先進材料、製造プロセス、材料設計）
- ・インフラモニタリングには約 1.2 億 USD（120 億円）を投資

図表 2.4 投資全体におけるインフラ関連規模



■ プロジェクト

- ・TIP のプロジェクトテーマ一覧、及び 2008 年の高度センシング技術開発賞の一覧を次頁以降の表に示す

■ その他

プログラム自体は 3 年で終了

以下、図表 2.5 に TIP のインフラモニタリングに関するプロジェクトテーマを示す。

図表 2.5 TIP のインフラモニタリングに関するプロジェクトテーマ一覧

Project Title	Lead Participant	Project Performance Period	Fund	
			Total	TIP funds
Self Powered Wireless Sensor Network For Structural Bridge Health Prognosis	Mistras Group, Inc., DBA Physical Acoustics Corporation	2/1/2009 - 1/31/2014	\$13,899 K	\$6,930 K
Cyber-Enabled Wireless Monitoring Systems for the Protection of Deteriorating National Infrastructure Systems	University of Michigan	2/1/2009 - 1/31/2014	\$19,162 K	\$8,998 K
Infrastructure Defect Recognition, Visualization, and Failure Prediction System utilizing Ultra Wide Band Pulsed Radar Profilometry	ELXSI	2/1/2009 - 4/30/2013	\$6,747 K	\$3,119 K
Fiber Sensing System for Civil Infrastructure Health Monitoring	Distributed Sensor Technologies, Inc.	2/1/2009 - 6/25/2012	\$8,548 K	\$4,030 K
Development of Rapid, Reliable, and Economical Methods for Inspection and Monitoring of Highway Bridges	University of Texas at Austin	2/1/2009 - 1/31/2014	\$6,842 K	\$3,421 K
VOTERS: Versatile Onboard Traffic Embedded Roaming Sensors	Northeastern University	3/1/2009 - 3/24/2014	\$18,802 K	\$9,000 K
Next Generation SCADA for Prevention and Mitigation of Water System Infrastructure Disaster	The Regents of the University of California (Irvine)	4/1/2009 - 3/31/2012	\$5,685 K	\$2,800 K
Microwave Thermoelectric Imager for Corrosion Detection and Monitoring in Reinforced Concrete	Newport Sensors, Inc.	2/1/2009 - 1/31/2012	\$2,498 K	\$1,249 K
Development of SCANSn for Advanced Health Management of Civil Infrastructures	Acellent Technologies Inc.	2/1/2009 - 8/30/2012	\$5,990 K	\$2,995 K
Civil Infrastructure Inspection and Monitoring Using Unmanned Air Vehicles	CyPhy Works, Inc.	2/1/2010 - 1/31/2013	\$4,996 K	\$2,453 K
Automated Nondestructive Evaluation and Rehabilitation System (ANDERS) for Bridge Decks	Rutgers, The State University of New Jersey	2/1/2010 - 1/31/2015	\$17,923 K	\$8,810 K
Distributed Fiber-Optic Sensing Technology For Civil Infrastructure Management	Optellios, Inc.	2/1/2010 - 1/31/2013	\$3,917 K	\$1,930 K
Robotic Rehabilitation of Aging Water Pipelines	Fibrwrap Construction, Inc.	2/1/2010 - 1/31/2015	\$17,582 K	\$8,462 K
A Rapid Underground Pipe Rehabilitation Technology	LMK Enterprises, Inc.	2/1/2010 - 7/31/2012	\$3,411 K	\$1,701 K
Development of a Multiscale Monitoring and Health Assessment Framework for Effective Management of Levees and Flood-Control Infrastructure Systems	Rensselaer Polytechnic Institute	2/1/2010 - 1/31/2014	\$6,928 K	\$3,462 K
Development of High-Toughness, Low-Viscosity Resin for Reinforcing Pothole Patching Materials	The Regents of the University of California (UCLA)	2/1/2010 - 1/31/2013	\$3,051 K	\$1,499 K
Advanced Coating Technology for Infrastructure	MesoCoat, Inc.	2/1/2010 - 1/31/2013	\$3,956 K	\$1,792 K

以下、図表 2.6 に TIP インフラ向け高度センシング技術開発賞受賞プロジェクトを示す。

図表 2.6 TIP インフラ向け高度センシング技術開発賞受賞プロジェクト一覧

プロジェクト名	実施者	期間	予算（万ドル）	
			総額	TIP 助成額
公共インフラの高度な健全性を可能にする自立型非破壊センシングネットワークの啓発	Accellent Technology 社	2009/2/1 ～2012/1/31	600	300
公共インフラの健全性モニタリングのための光ファイバセンシングシステム	Distributed Sensor Technologies 社	2009/2/1 ～2012/1/31	854	403
超広帯域パルスレーダー表面形状測定装置を用いたインフラの欠陥の把握・視覚化・故障予測システム	ELXSI 社	2009/2/1 ～2012/1/31	674	312
鉄筋コンクリート腐食検知・モニタリングマイクロ波熱電撮像装置	Newport Sensor 社	2009/2/1 ～2012/1/31	250	125
自動車に搭載して橋や道路の状態を観測・評価する多目的センサーの開発	ノースイースタン大学	2009/2/1 ～2014/1/31	1880	900
橋梁の構造健全性を予知診断する電源内蔵型無線センサーネットワーク	Physical Acoustics 社	2009/2/1 ～2014/1/31	1390	693
水道システムインフラの災害を予防及び緩和するための次世代型監視制御・データ収集システム	カリフォルニア大学アーバイン校	2009/2/1 ～2012/1/31	568	280
国家インフラシステムの劣化を防ぐためのコンピュータネットワークを利用した無線監視システム	ミシガン大学	2009/2/1 ～2014/1/31	1916	900
高速で信頼性が高く経済性に優れた道路橋の点検・モニタリング手法の開発	テキサス大学オーステイン校	2009/2/1 ～2014/1/31	684	342

2.1.3. センサシステム類似技術

社会インフラ分野において、インフラ点検時に利用されるセンサシステム類似技術の調は、「橋梁定期点検要領（案）国土交通省 国道・防災課 H16.3」で示されている詳細調査方法を参考に行った。詳細調査方法は、機器を使った非破壊検査、およびイメージングを活用する場合が多く、非破壊検査結果を画像で診断する場合もある。

以下、図表 2.7 に「橋梁定期点検要領（案）国土交通省 国道・防災課 H16.3」を参考に非破壊検査方法の特徴を整理した結果を示す。

<表の見方>

- ・イメージング関連は背景が薄緑、非破壊検査は背景が白、ただし、非破壊検査結果を画像診断する場合は薄緑でそれぞれ示す。
- ・橋梁関連は黒字、トンネル関連は青字でそれぞれ示す。
- ・○印は、「橋梁定期点検要領（案）国土交通省 国道・防災課 H16.3」に明記されている詳細調査における検査方法を示す。

図表 2.7 橋梁、トンネル詳細調査方法におけるイメージング、非破壊検査技術

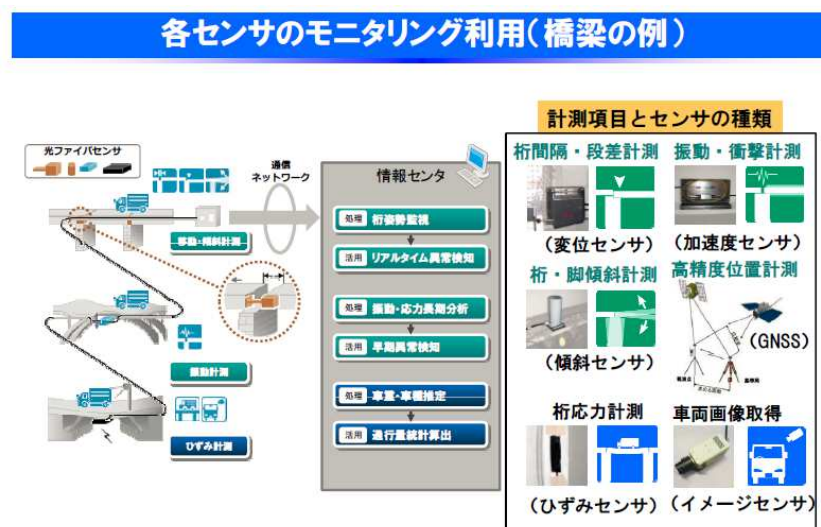
検査方法	把握できる内容	適用範囲	使用方法	利点	問題点
○超音波板厚測定(板厚測定) 超音波短傷法	・厚さの測定 ・厚さ、空洞深さ、ひび割れ深さ	・金属、非金属および超音波を透過させる材料	・超音波により共振を起こして肉厚を測定する ・超音波を送信しコンクリート内の超音波の伝播時間を測定することにより、厚さ、空洞の深さ、ひび割れ深さを計測	・測定は容易 ・使用実績が多数ある ・装置が小型 ・欠陥の詳細形状を計測可能	・記憶保存が困難 ・塗膜が厚いと精度が悪い ・マッチング液が必要 ・曲面への接触が困難 ・検査に時間がかかる
○渦流探傷試験	・表面および表層部の欠陥、特に亀裂に有効	・導電材料	・コイルにより測定物にうず電流を与え、表面のひびわれ等の変化によるうず電流の変化を検出して損傷を判別する	・測定速度速い ・経済的である	・形状が単純なものでないと適用しにくい ・内部の欠陥は検知できない ・欠陥以外の材料的因子により影響を受ける ・測定に熟練を要する

検査方法	把握できる内容	適用範囲	使用方法	利点	問題点
○磁粉探傷試験	・部材表面、または表面付近の亀裂の検出	・磁性材料（鉄鋼材料等）	・一般的手法：極間法	・方法が簡易で亀裂の検出に優れている	・鉄鋼材料などの磁性材料のみに適用可能 ・内部損傷は測定不能 ・亀裂の深さが測定不能
○超音波探傷試験	・部材欠陥、特に亀裂の判別に適している ・また、欠陥の位置については判別しやすい	・金属、非金属、プラスチック、その他超音波を透過させる材料 ・部材の形状には、制限があまりない	一般的手法：パルス反射法	・小さな欠陥は検出しにくい、材料の厚さには制限は少ない ・持ち運びが容易	・記憶保存しにくい。 ・測定に熟練を要する ・損傷の形状種類が把握しにくい ・塗膜が厚いと精度が悪い
○浸透探傷試験	・金属および非金属材料の亀裂	・特に制約はない	・作業工程 1) 浸透処理 2) 洗浄処理 3) 現像処理 4) 観察	・材料を比較的選ばない ・作業効率が良い ・写真などにより記憶が容易	・表面の亀裂のみ検出 ・多孔質材および表面の粗い材料は不可
○赤外線調査	・ひびわれ、うき、空洞および塗装タイルの浮き上がり	・部材一般 ・特に平面的拡がりのあるものが有利	・一般部分と異なる部分（ひびわれ、空洞）の表面温度の遠いにより欠陥位置を推定する	・測定が容易、特に平面的拡がりがあるもの ・記憶の保存が容易 ・判別が容易	・正常な部分と欠陥部との表面温度差が生じる時間帯に調査する必要がある
○ボルトヘッドマークの確認	・高力ボルト材電が確認できる	・刻印付のボルト	・目視	・F11T ボルトの確認が容易	・損傷の有無の確認ではない
○たたき試験	・高力ボルトのゆるみの有無	・高圧ボルト	・高圧ボルトのナット側をたたき、振動・異常音により損傷の有無を確認する	・簡単な調査方法である	・精度は比較的ばらつきが大きい。 ・本数が膨大となる ・傷の程度・状態が把握できる責任ある経験技術が必要
○超音波探傷試験（F11T等の損傷）	・高圧ボルト等の内部亀裂	・高圧ボルト	・音波を伝達し反射時間より欠陥の位置・大きさを調べる	・現場作業時間が短い	・亀裂の位置や大きさによりバラツキがみられる
○軸力計（電磁式）を利用した調査	・高圧ボルト等のゆるみ	・高圧ボルト	・振動の共振による共振周波数から軸力を求める	・現場作業時間が短い	・材質・ボルト長により測定ができない場合がある
○写真撮影（画像解析による調査） CCDカメラ撮影、テレビカメラ撮影、ラインセンサカメラ撮影	・塗装劣化面積、ひびわれ幅・長さ ・ひび割れ、破損、継ぎ目のずれ、腐食	・ひびわれ幅0.2mm以上	・損傷を写真撮影し画像解析により検出 ・一般的には、車両に照明機器等を搭載し車両を走行させながら連続撮影、記録、画像化し検査 ・トンネル内の1次元ラインセンサカメラを自走させ覆工表面を撮影し、連続走査画像を作成し検査	・現場作業時間が短い	・精度は比較的ばらつきが大きい。

検査方法	把握できる内容	適用範囲	使用方法	利点	問題点
○インピーダンス測定	・塗装劣化度	・塗膜	・塗膜抵抗値を電氣的に測定することによって、インピーダンスを得る	・現場作業時間が短い	・精度は比較的ばらつきが大きい
○膜厚測定(超音波法)	・塗膜厚さ	・塗膜	・超音波により共振を起こして膜厚を測定する	・測定が容易 ・使用実績が多数ある	・記憶保存が困難
○付着性試験	・塗膜の付着性	・塗膜	・乾燥塗膜に切り込みを入れ、その上にテープを貼り付け引っ張った際の塗膜の剥落度で評価する	・試験が容易	精度は比較的ばらつきが大きい
○移動量測定(支承)	・支承移動量等)	・支承等	・デジタルひずみ計による支承移動量の測定	・定量的な移動量が測定できる	・下部構造を固定点とする必要がある
○カラーイメージングソナーによる測定	・基礎の洗堀	・水中基礎	・水中にける、音波による構造物や洗堀状況(地盤形状)の確認	・測定が容易	・流速の速い河川では使用困難な場合がある ・水深が浅いと使用困難な場合がある
レーザ照射計測	ひび割れ		レーザ照射装置、センサ装置を車両に搭載し、反射した光をセンサで認識し画像化し検査		
レーザ超音波法	欠陥		レーザ照射により超音波をコンクリート内部に発生させ超音波反射エコーやコンクリート表面振動モードにより判断	・非接触、遠隔探傷 ・高速探傷 ・曲面の計測が可能 ・詳細形状が計測可能	・装置が大型
電磁波検出法	欠陥 金属の探傷		電磁波の反射により欠陥や金属の探傷する	・やや高速探傷	・ほぼ接触させた状態で計測

尚、参考として、以下図表 2.8 に橋梁における各センサのモニタリング利用例、および図表 2.9 に光ファイバセンサを活用した橋梁モニタリングシステムの事例、図表 2.10 に自立型センサシステムの機能と今後の機能毎への要求を示す。

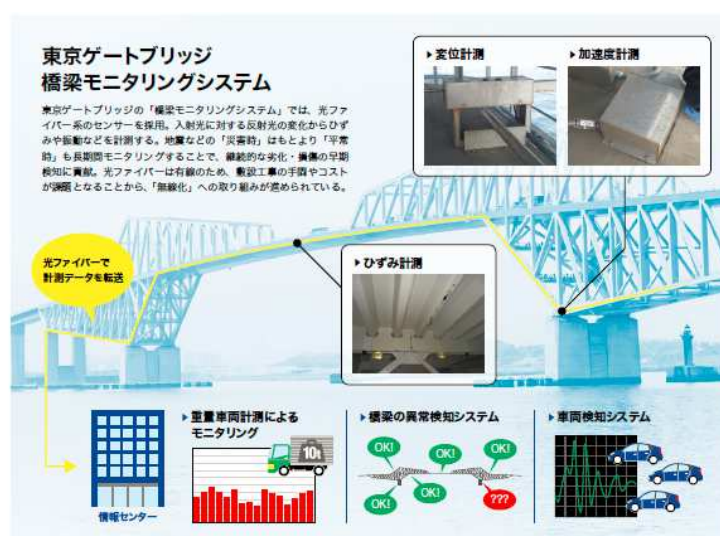
図表 2.8 橋梁における各センサのモニタリング利用例



(出典：国土交通省第2回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討会委員会（一財）マイクロマシンセンター講演資料)

上述のモニタリング例は光ファイバセンサも活用された事例である。光ファイバセンサは光ファイバ自体をセンサとして用いることによって、線あるいは面の情報として広範囲の測定が可能になる。ただし、ユーザヒアリングでは、設置コスト等の課題があり、インフラ維持管理の費用対効果の視点が重要となるとの指摘もあげられた。

図表 2.9 光ファイバセンサ活用モニタリングシステム例（東京ゲートブリッジ）



(出典：経済産業省発刊、METI journal 2013年6・7月号 「がんばる、センサー」)

図表 2.10 自立型無線センサシステムの機能と今後の機能毎への要求

今後のセンサー技術(自立型無線センサーシステム)		
項目	現状のセンサーシステムの課題	今後のセンサーシステムへの要求
センサ	大型、高価	小型、安価、高耐久性・高信頼性
電源	有線(設置困難、敷設コスト高い、災害時断線) 電池(寿命短い、交換大変)	自立電源(環境発電)
通信	有線(設置困難、敷設コスト高い、災害時断線)	無線、低消費電力
回路	消費電力大	低消費電力
パッケージ	設置が不自由、大型、高価	高耐久、設置が自由、小型、安価
データ処理	データ数限定	ビッグデータ処理 (多数点計測、常時計測)

(出典：国土交通省第2回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討会委員会（一財）マイクロマシンセンター講演資料)

2.1.4. 各種センサシステムの特性比較

各種センサシステムの特性比較を、上述の国内外センサシステム事例、および以下**図表 2.11** の国土交通省委員会資料のモニタリング技術活用事例から特性比較を行った。特性比較にあたり、使用環境やセンサシステムの機能等について検討を行った結果、センシング対象が最も重要で共通的な特性項目であった。よって、センシング対象を整理した結果を示す。

図表 2.11 国土交通省モニタリング技術活用事例

No.	名称	構造物の材料	施設分類
1-1	護岸ブロックの流出検知による河川護岸監視	コンクリート	岸壁・護岸
1-2	栈橋上部工 床版等のひずみ量モニタリング	コンクリート	栈橋
1-3	滑走路栈橋の変位把握による健全度評価	コンクリート	栈橋
1-4	光ファイバによるひずみ把握	コンクリート	橋梁・トンネル
1-5	塩害コンクリート橋の架け替えまでの変位監視	コンクリート	橋梁
1-6	補修・補強を行ったコンクリート橋の長期モニタリング	コンクリート	橋梁
1-7	橋梁モニタリングシステムの適用性検討	コンクリート・鋼	橋梁
1-8	亀裂変位計および水管式沈下計による損傷橋梁のモニタリング	コンクリート	橋梁
1-9	公益共同溝の光ファイバによる変位監視	コンクリート(埋設構造物)	共同溝
1-10	結氷港湾における水中部の劣化診断	コンクリート(埋設構造物)	岸壁・護岸
1-11	広角カメラや衝撃弾性波などによる下水道管渠のモニタリング	コンクリート(埋設構造物)	下水道
1-12	栈橋上部工の腐食モニタリング	コンクリート	栈橋
1-13	走行型計測車両を適用した移動体による変位観測	コンクリート	トンネル
1-14	画像による壁面劣化把握	コンクリート	トンネル
2-1	東京港臨港道路の橋梁動態モニタリング	鋼	橋梁
2-2	本四連絡橋の動態把握システム	鋼	橋梁
2-3	破断検知線を用いた鋼橋の疲労損傷モニタリング	鋼	橋梁
2-4	亀裂発生個所のセンサによる状況監視	鋼	橋梁
2-5	新湊大橋の耐風対策工効果把握のための振動観測	鋼	橋梁
2-6	電気防食化した栈橋鋼管杭部の腐食状況把握	鋼	栈橋
2-7	ひずみ可視化シートによる構造部材劣化検知	コンクリート・鋼	橋梁
3-1	光ファイバセンサを活用した道路斜面モニタリング	土	斜面
3-2	傾斜・ひずみセンサによる道路施設モニタリングシステム	土	斜面
3-3	既設アンカーの荷重計による緊張力監視	土	斜面
3-4	GPS センサによる法面の位置ずれ把握	土	斜面
3-5	デジタル画像計測による斜面モニタリングシステム	土	斜面
3-6	干渉 SAR 解析による地盤変動監視	土	地盤
4-1	GPS を用いた堤体の変位測定による健全度評価	その他(岩石・土砂)	ダム
4-2	特殊車両走行重量計測システム	その他(アスファルト)	道路

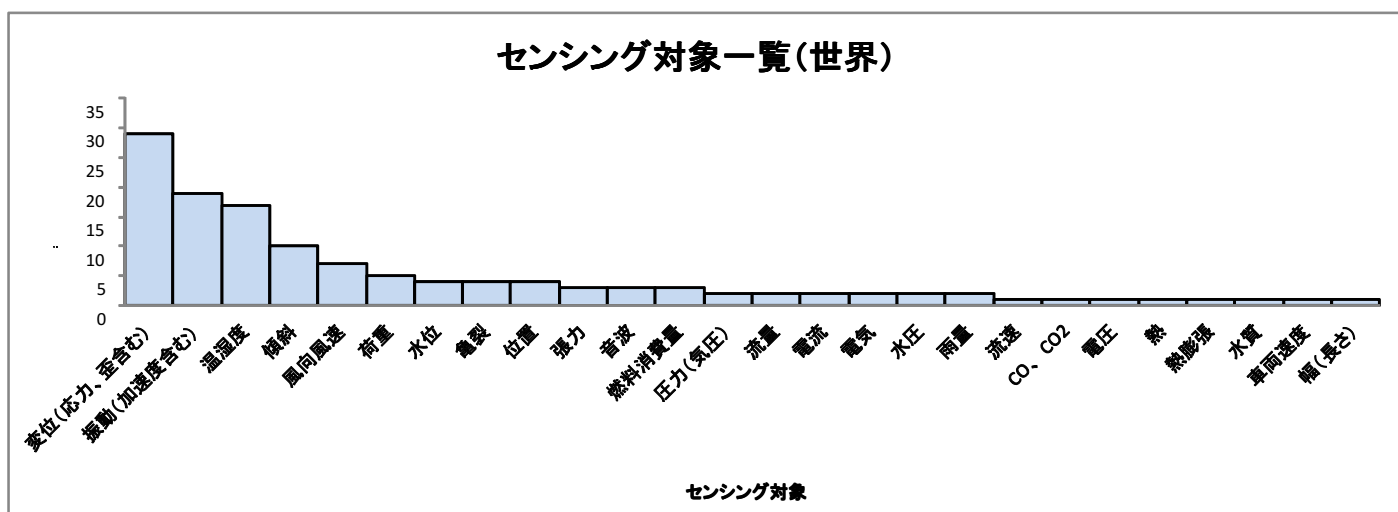
4-3	カメラ・センサを搭載した車両による道路現状計測システム	その他(アスファルト)	道路
4-4	鉄道道床変位自動検知システム	その他(鉄道)	鉄道

(出典：国土交通省第1回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討会委員会 参考資料3「社会インフラにおけるモニタリング技術の活用に向けた取り組み事例」)

<センシング対象>

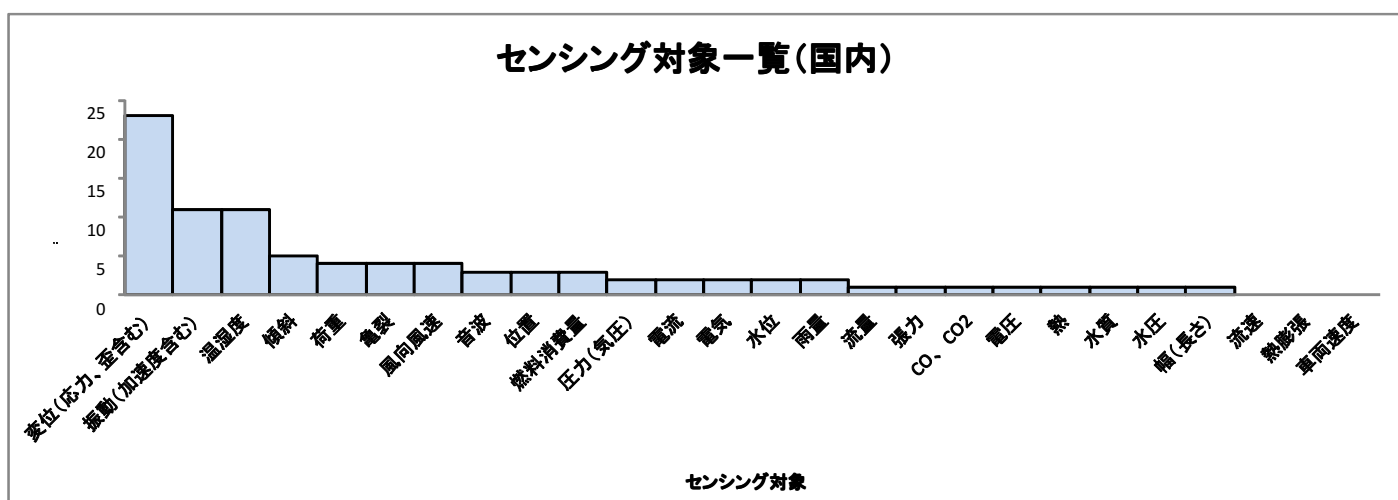
図表 2.12 に収集した国内外センサシステム事例におけるセンシング対象の件数を示す。世界、国内とも、変位（応力・歪も含む）、振動（加速度も含む）、温湿度、傾斜がセンシング対象としては上位であった。

図表 2.12 国内外の社会インフラに関連する事例のセンシング対象



以下、図表 2.13 に国内の社会インフラに関連する事例のセンシング対象の件数を示す。

図表 2.13 国内の社会インフラに関連する事例のセンシング対象



尚、参考として、以下図表 2.14 に社会インフラ分野の点検・監視に利用される代表的なセンサの種類を示す。

図表 2.14 社会インフラの点検・監視に利用されるセンサの種類



(出典：国土交通省第2回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討会委員会（一財）マイクロマシンセンター講演資料)

2.2. 各社会インフラ分野におけるニーズ及び実用化等

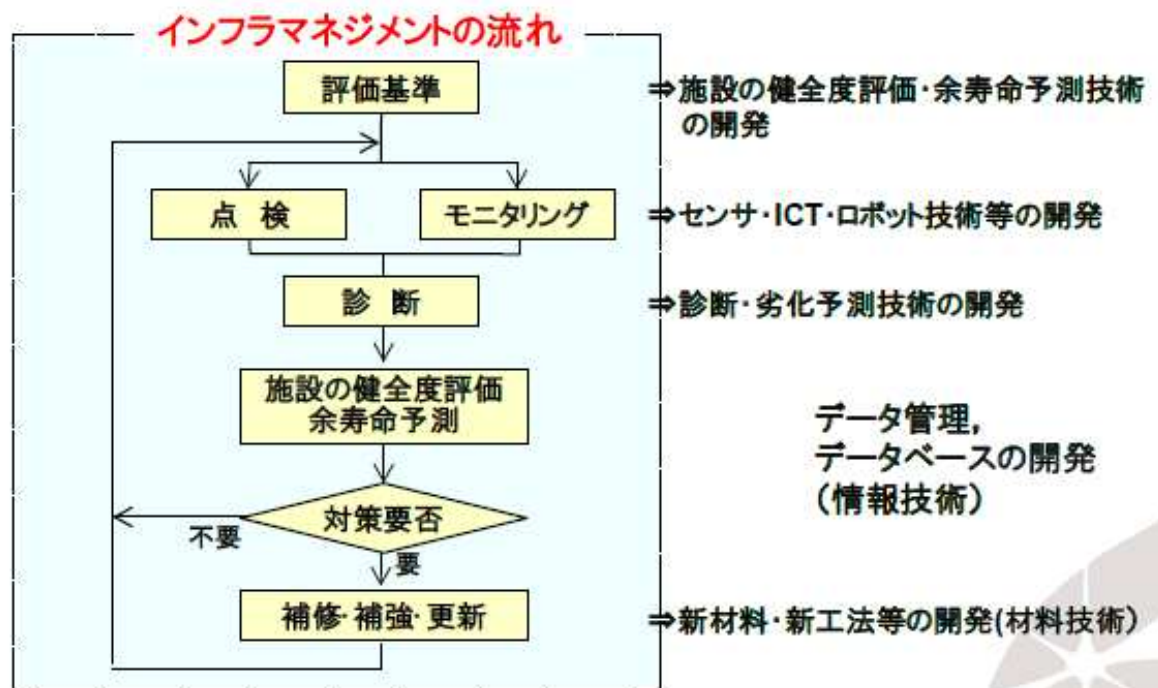
文献調査およびユーザへのヒアリング、ワーキング等の情報により、以下に示す4項目の社会インフラ分野毎、「現状と課題」、「センサシステムへの要望」、「求められるセンサシステム像」、「実用化への課題」の分析、整理を行った。

- 橋
- トンネル（付帯施設等も含む）
- プラント施設
- 公共・商用施設

また、以下図表 2.15 に、インフラ維持管理フローとそのフローにおける関連する要素技術開発を示す。

図表 2.15 インフラ維持管理フローと要素技術開発

インフラ維持管理フローと要素技術開発



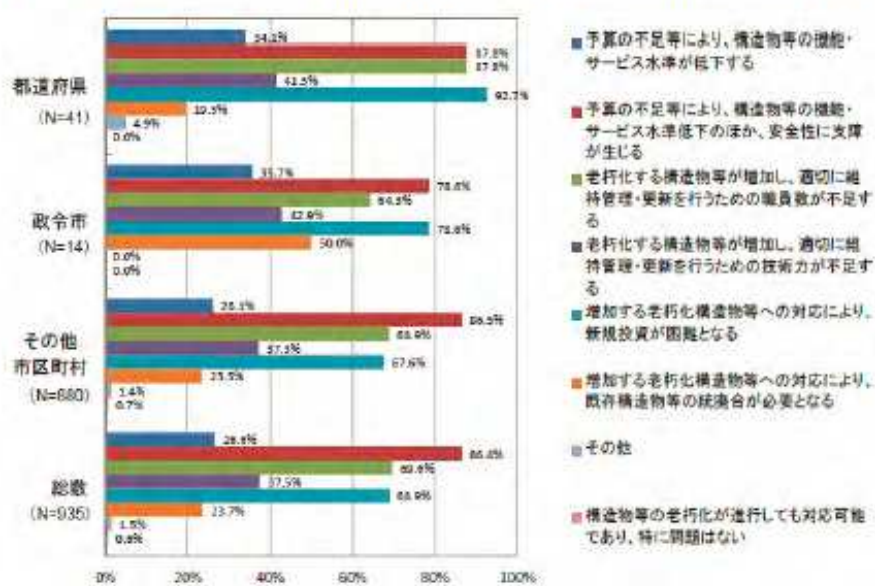
(戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 研究開発計画中間発表「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」藤野 WG 長講演資料より)

更に、地方公共団体におけるインフラ維持管理における課題を以下図表 2.16 の国土交通省資料より示す。

図表 2.16 地方公共団体のインフラ維持管理における課題

インフラの多くを管理している地方公共団体は、維持管理を行うための人員不足、予算不足、技術不足による構造物の機能・サービス水準・安全性の低下等を懸念。

貴団体において、公共構造物・公共施設の老朽化が進行する中で、今後懸念されることはなんですか？（複数選択）



出典：国土交通省資料

2.2.1. 橋

以下に、橋におけるセンサシステムの調査結果をセンサシステム、およびユーザニーズが高かった据置型イメージングシステムについて示す。

(1) センサシステム

<現状>

- 自治体等の管理機関が定める点検マニュアル等に基づいて検査が実施されており、予算や人員が限られているため、自治体によっては検査が困難な場合もある。よって、定期検査がなされていない橋梁も存在する
- 橋梁点検マニュアルが自治体によっては出来ているが、国土交通省から提示されている橋梁定期点検要領（案）がベースになっている場合が多い
- 橋梁点検時の詳細調査においては、赤外線、超音波等機械を使った調査は殆ど行っていない、詳細調査も近接目視、打音検査が殆どである
- 一般的な検査は、定期検査が2年もしくは5年に一度、大半が人による目視と打音による定期点検である
- 災害時には、人手によって被災が予想される全て地点を網羅的に緊急点検を行う
- 首都高の橋梁等には地震計が設置されている

<課題>

- 人手による手間(目視点検、足場準備)、コストがネックとなり、定常的な監視が困難な状況にある
- 定期点検の結果を確認する自治体担当者の現場確認力も必要である
- 車両の荷重監視は共通的な課題である
- 鋼橋の場合、鋼橋塗装管理、鋼橋の亀裂計測の課題もある
- 管理機関の契約によっては随意契約が困難なため、新技術を取り込みにくい環境がある

<センサシステムへの要望>

- センシング対象の物理量として、振動、変位、変形、音波などを検知して、コンクリートのひび割れ、剥離、亀裂、コンクリート内部の空隙及び空洞、金属部材の腐食、亀裂、破断の状態を推定したい
- 外部環境（塩害・高温・高湿等）に対する耐久性、高耐環境性、耐衝撃性が高く、長期のメンテナンスフリーであって欲しい
- 長寿命で高効率な小型自立電源を装備しており、省電力化されているシステムである事が望ましい

- 設置、取替えの容易な小型なシステムが欲しい
- 無線通信が可能でデータの高信頼性、データ送信における省電力化、長距離データ送信が必要である
- 損傷度合いの判定や健全度の判定等のデータ解析が出来る安価なシステムが欲しい

＜求められるセンサシステム像＞

橋梁の状態を定常的に計測し、的確に損傷・劣化事象の検知や健全度の把握を行い、かつ予算や人員が限られている自治体において目視点検等を代替する汎用性の高いシステムが求められている。更に、設置が容易で、耐久性、耐災害性に優れ、長期メンテナンスフリーかつ安価、自然環境に影響を及ぼさないセンサシステムである事も重要である。

＜実用化への課題＞

- 海外への普及や橋梁管理データ互換性向上、及び事業拡大を目的に橋梁維持管理センサシステムの知財化、国際標準化等
- システム商品化（量産品での耐久性、価格、取扱い性、保守性、保守点検体制構築、ネットワークの仕様対応）
- 社会全体での標準化、橋梁定期点検要領等の制度・規制
- 地域毎、産学官の連携とモニタリングメンテナンスセンターによる実効的運用

(2) 据置型イメージングシステム

＜現状＞

- 近接目視点検や打音検査、触診等による「ひび割れ」の確認が行われている

＜課題＞

- 足場の仮設などによりコスト増になる
- 高所に発生したひび割れを双眼鏡で見つける時間と集中力の問題が必要である
- 作業員の熟練度の違いによる点検検査のバラツキが発生している
- 現状の点検結果からは、いつごろ対策をすべきかを判断するのが難しい
- （センサシステム同様）定期点検の結果を確認する自治体担当者の現場確認力も必要である
- （センサシステム同様）管理機関の契約によっては随意契約が困難なため、新技術を取り込みにくい環境がある

＜求められるイメージングシステム像＞

- コンクリートひび割れ等検知を撮影した画像データから簡易にひび割れを識別でき、高精度に検知できるシステム
- 構造物全体または広範囲の変位とひずみを簡易に計測でき、撮影した画像のボケや位置ずれの影響を受けず、3次元方向の変位を計測できるシステム

- データ管理、過去のデータとの比較等が容易で安価なシステム

<実用化への課題>

(上述のセンサシステムとほぼ同様である)

- 海外への普及や橋梁管理データ互換性向上
- システム商品化（量産品での耐久性、価格、取扱い性、保守性、保守点検体制構築、ネットワークの仕様対応）
- 社会全体での標準化、橋梁定期点検要領等の制度・規制
- 地域毎、産学官の連携とモニタリングメンテナンスセンターによる実効的運用

2.2.2. トンネル

以下に、トンネルにおけるセンサシステムの調査結果をセンサシステム、およびユーザーニーズが高かった移動型イメージングシステムについて示す。

(1) センサシステム

<現状>

- 自治体等の管理機関が定めるトンネル及び付帯構造物定期点検要領等に基づいて、検査が実施されている
- 一般的には、定期検査は2年もしくは5年に一度、作業員による目視、打音検査を行う

<課題>

- 高所作業・上向き作業のため作業員への負担が大きい
- 点検のために交通規制が必要になる場合もある
- ボルトの個々の取り付け状態差異が劣化等の安全度の低下によるものかどうかの判定等、打音検査では判断が難しい場合がある
- 検査の人材の確保、人件費の削減の課題がある
- (橋と同様) 定期点検の結果を確認する自治体担当者の現場確認力にも課題がある
- (橋と同様) 管理機関の契約によっては随意契約が困難なため、新技術を取り込みにくい環境がある

<センサシステムへの要望>

- センシング対象の物理量として、振動、変位、変形、音波、温度変化（昇温速度、降温速度）などを検知して、コンクリートのひび割れ、剥離、亀裂、コンクリート内部の空隙及び空洞、金属部材の腐食、亀裂、破断の状態を推定したい
- 外部環境に対する耐久性、高耐環境性が高く、長期のメンテナンスフリーであって欲しい
- 長寿命で高効率な環境発電デバイス技術による自立電源機能を有しており、小型で省電力化されているシステムが欲しい

(以下は、橋と同様である)

- 無線通信が可能でデータの高信頼性、データ送信における省電力化、長距離データ送信が必要である
- 損傷度合いの判定や健全度の判定等のデータ解析が出来る安価なシステムが欲しい
- 設置、取替えの容易な小型なシステムが欲しい

<求められるセンサシステム像>

トンネルの状態を定常的に計測し、的確に損傷・劣化事象の検知や健全度の把握を行い、

かつ予算や人員が限られている自治体において目視点検等を代替する汎用性の高いセンサシステムが求められている、更に、設置が容易または機動的なモニタリングが可能で、耐久性、耐災害性に優れ、長期メンテナンスフリーかつ安価、自然環境に影響を及ぼさないセンサシステムである事も重要である

＜実用化への課題＞

(橋とほぼ同様の課題である)

- 海外への普及やトンネル管理データ互換性向上、及び事業拡大を目的にトンネル維持管理センサシステムの知財化、国際標準化等
- システム商品化（量産品での耐久性、価格、取扱い性、保守性、保守点検体制構築、ネットワークの仕様対応）
社会全体での標準化、トンネル及び付帯構造物定期点検要領等の制度・規制
- 地域毎、産学官の連携とモニタリングメンテナンスセンターによる実効的運用

(2) 移動型イメージングシステム

以下図表 2.17 に、参考として、移動型イメージングシステムの事例を示す。

図表 2.17 移動型イメージングシステム例

番号	1-13	構造物の材料	コンクリート構造物	計測手段	光学センサ	計測内容	形状
名称	走行型計測車両を適用した移動体による変位観測						
適用施設	国交省や地方公共団体管理の一部トンネル			施設分類	トンネル		
背景・目的	従来の目視による道路トンネルの点検は、一般に片側通行規制で実施されるため、渋滞発生の原因となっていた。また、トンネル内の暗い中で点検では、見落としや点検員による判断の差などから、客観的な診断が困難であった。そこで、コンクリート構造物の表面状態について、交通規制を行うことなく、かつ定量的に把握するため、走行型計測車両を開発した。						
概要	車両に複数台のビデオカメラとレーザー計測装置を搭載し、走行しながらトンネル等のコンクリート構造物の表面状態を定量的に記録する。覆工断面や断面形状の画像データおよびレーザーデータを基に、トンネル内のひび割れやうき、剝離、剝落等の損傷を把握する。						

モニタリング技術活用イメージ

写真：トンネル管状部材の劣化状況

写真：トンネル断面形状の可視化

写真：走行型計測車両

写真：高精度レーザー

高精度レーザー
100万点/秒、200mm/秒
5000点/周（4mm間隔）

＜構成＞

項目	仕様	性能
カメラ	100倍	100倍
カメラ	200倍	200倍
カメラ	300倍	300倍
カメラ	400倍	400倍
カメラ	500倍	500倍
カメラ	600倍	600倍
カメラ	700倍	700倍
カメラ	800倍	800倍
カメラ	900倍	900倍
カメラ	1000倍	1000倍

＜仕様＞

- 高精度カメラによる連続撮影により、時速40～80km/h程度での計測が可能であるため、車線規制を行う必要がない
- すでに実務で稼働しており、平成22年度～平成24年度の期間においても、約93kmのトンネル（130以上のトンネル）を計測した実績がある
- 維持管理要領に位置付けるための明確な基準化が必要である

写真：トンネル断面形状の可視化

＜仕様＞

- 高精度カメラによる連続撮影により、時速40～80km/h程度での計測が可能であるため、車線規制を行う必要がない
- すでに実務で稼働しており、平成22年度～平成24年度の期間においても、約93kmのトンネル（130以上のトンネル）を計測した実績がある
- 維持管理要領に位置付けるための明確な基準化が必要である

(出典：国土交通省第1回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会 参考資料 3「社会インフラにおけるモニタリング技術の活用に向けた取り組み事例」)

＜現状＞

- 近接目視点検や打音検査、触診等による「ひび割れ」の確認が行われている。

＜課題＞

- 作業員の熟練度による点検検査のバラツキがある
- 常に一定の基準の基、ブレの無い判断結果が得られない
- 判断結果を定量化による、客観性をもった対策が必要である
- 交通規制が伴い危険な作業になる場合もある
- 点検場所によっては、目視点検が不可能な箇所もある

＜求められるイメージングシステム像＞

- コンクリートひび割れ等検知において、カメラやレーザースキャナを車載に搭載したシステムにより、ひび割れの、幅、本数、場所、漏水の有無、方向を精度よく的確に把握でき、奥行き方向（3次元）の情報も計測できるシステム
- 画像データ処理によりコンクリート表面の汚れ等の影響なく、ひび割れ等を検出できるシステム
- デジタルデータによる管理により過去のデータと比較しやすく、覆工表面画像写真を容易に作成でき、損傷の進行状況を確認しやすい安価な測定評価システム

＜実用化への課題＞

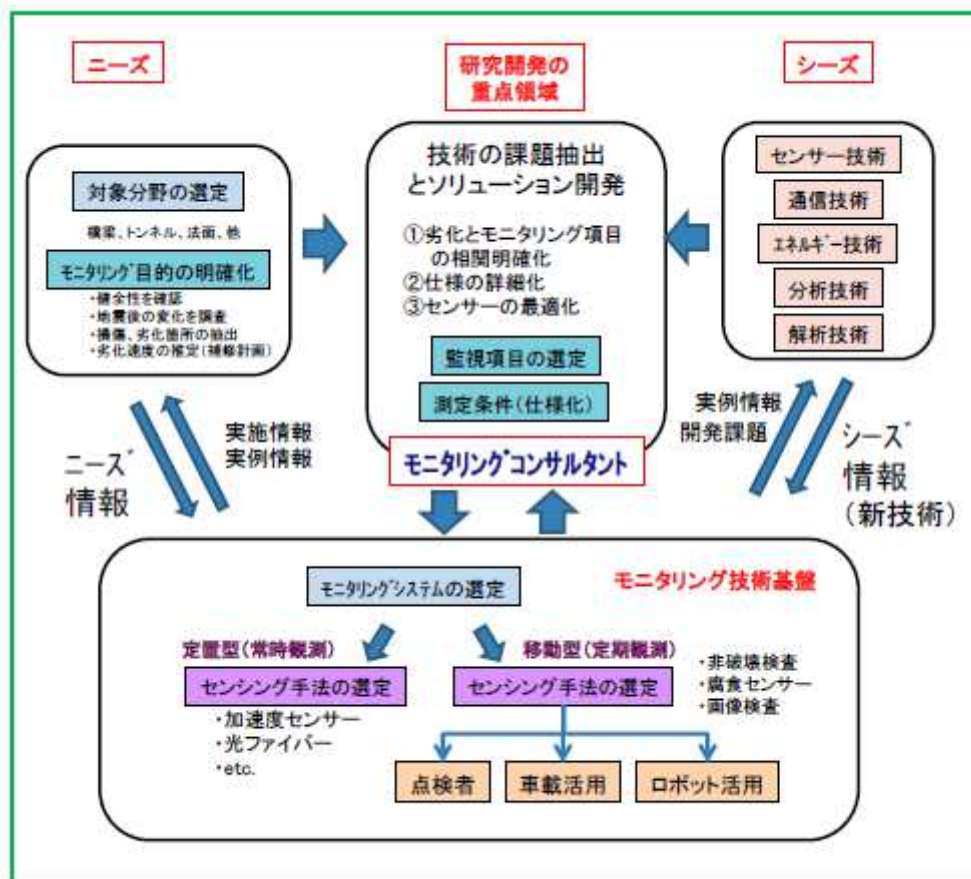
（センサシステムとほぼ同様である）

- 海外への普及やトンネル管理データ互換性向上、及び事業拡大を目的にトンネル維持管理センサシステムの知財化、国際標準化等
- システム商品化（量産品での耐久性、価格、取扱い性、保守性、保守点検体制構築、ネットワークの仕様対応）
社会全体での標準化、トンネル及び付帯構造物定期点検要領等の制度・規制
- 地域毎、産学官の連携とモニタリングメンテナンスセンターによる実効的運用

また、上述の橋梁やトンネル等の実用化においては、ニーズを発信する維持管理側とシーズを提供する技術開発の側とのマッチングが重要である。

以下、図表 2.18 にニーズとシーズとのマッチング、及びモニタリング技術基盤の構築について、産業競争力懇談会（COCN）の報告書を参考に示す。

図表 2.18 ニーズとシーズのマッチング、及びモニタリング技術基盤の構築



(出展：産業競争力懇談会 (COCN) 2013 年度プロジェクト「インフラ長寿命化技術」最終報告書より)

2.2.3. プラント施設

<現状>

【石油化学・ガス・電力】

- 極少数の測定点に限定したモニタリングを行っている
- 熟練作業者による聴覚等に頼った、配管から生じる音や振動の異常の定期的な探索を行っている

【石油化学・ガス】

- 比較的高価かつ大型の測定器を配管設備に設置し、有線ネットワークにより情報（配管設備の異常検出や、配管内の温度・圧力・流量等）を収集している
- 膨大な配管を網羅的に検査することができなため、定期的な設備の交換で対応している

【石油化学・電力】

- 大規模蒸気プラントでは、蒸気の約 50%しか有効に利用されていない

【石油化学】

- 腐食に関しては、海外製のシステムが多いが高価である
- 事故の原因として腐食が多く、腐食→漏洩→事故の関連性は高い
- 設備・部品にはあるが、プラントの寿命と言う概念は無い

【電力】

- 設計値から劣化を予測して、早期の配管交換を行っている

<課題>

【石油化学・ガス・電力】

- 工事コストが高い（測定器を設置するためには、配管を動作停止した上で切断搬入する必要がある）
- 配線の敷設コストが高い
- 異常発生箇所の特定制や小規模の異常検出が困難である
- 定期点検では、急速な損傷により大事故や長期設備停止の起点となる微細な損傷や漏洩を発見できない
- 検査の人材確保が大変である
- 無線ネットワーク化に関しては、低消費電力化が課題である
- 地中に埋設している配管、天井付近の配管、断熱材敷設配管等は目視確認ができない

<センサシステムへの要望>

【石油化学】

- センシングを、設備保全のためのモニタリング（圧力、振動、肉厚、ガス検知、軸受けのノイズ、流量等）のために行い、機械・設備の稼働停止に繋がる要因を早期に発

見し、回避、通報が可能で、操業状況の見える化のためのシステムが欲しい

- 可動式・脱着式のセンサによる、地中に埋設している配管のセンシングや配管の外から蒸気流量を測定できると良い
- ロボット等との連携により人による計測が不可能または困難な設備（貯蔵タンクや人の入ることができない場所）腐食・亀裂の診断を行い、メンテナンスの要否の判断や制御をリアルタイムに実現することによる生産性を向上させること、及び工場周辺環境のモニタリングにより環境影響度の評価、工場設備へのフィードバックを行うことが出来るシステムが欲しい
- 広域・多数に渡る設備の運用状況を継続に検査・監視が可能なシステムが欲しい
- 小型で、耐久性、高い耐熱性（250℃～300℃）、防爆（火花が散らない）性の高く安価なセンサシステムが欲しい

【ガス・電力】

- 地中に埋設している配管のセンシング、及び工場周辺環境のモニタリングにより、環境影響度の評価、工場設備へのフィードバックを行うことが出来るシステムが欲しい
- 設備保全のためのモニタリング（流量等）により、機械・設備の稼動停止に繋がる要因を早期に発見し、回避、通報が可能で操業状況の見える化が出来るシステムが欲しい
- ロボット等との連携により人が入ることが出来ない場所でのセンシングや広域・多数に渡る設備の運用状況の把握を行うことが出来るシステムが欲しい
- 小型で、耐久性、高い環境性、または、メンテナンスが容易で安価なセンサシステムが欲しい

＜求められるセンサシステム像＞

【石油化学・ガス・電力】

- 空中を伝播する音波・振動を測定する革新的センサ端末等により、配管の外から配管内の蒸気等の流量を測定でき、異常時は配管の内容物の流量把握、及び漏洩等の異常発生を検知する超広帯域・高感度でセンシングし、平常時は、配管の振動状況を広帯域・高感度に検出することが可能なセンサシステム
- 無線センサネットワークによる、適切な運用・メンテナンス、災害等の発生時の迅速な復旧を実現するセンサシステム
- 設置・取替えが容易な小型で、耐久性に優れることにより長期にメンテナンスフリーかつ自然環境に影響を及ぼさず、機動性に優れ、安価なセンサシステム

＜実用化への課題＞

【石油化学・ガス・電力】

- 配管の劣化、流量を検知可能な低電力振動センサおよび、配管環境において、無線送信可能な電力を取得する自立電源および無線システムの開発
- 高圧ガス保安法／省エネ法等の制度、規制、電力は省エネ法等の制度、規制

2.2.4. 公共・商用施設

<現状>

【公共・商用施設】

- 保守員の経験と勘に依存している
- 建築物の耐震診断や設備の回転機器の劣化診断を行うシステムがいくつか開発されている

【商用施設】

- 代表的な部屋を決めて、その部屋を測定することがオフィスでは一部実施されている

<課題>

【公共施設・商用施設】

- システムのセンサ端末や設置工事費に費用がかかる
- 建築物に合わせた診断システムの開発が必要であり、システム全体の価格が高い
- 取得したデータによる、二次災害防止や災害直後のサービス早期再開のためのシステムの実用化に課題がある
- 人材の確保・人件費の削減
- 特に、病院では無線を使用しない

<センサシステムへの要望>

【公共施設・商用施設】

- センシング対象は振動、流量以外に圧力や音や室内温度分布等で設備機器（空調、ポンプ等）・配管・配線の劣化診断モニタリングを行いたい
- 無線ネットワーク化による設置場所からの無線データ通信、及び自立電源化によるケーブルに引き回しの回避や多数センサ設置を可能にしたい
- 小型で、耐久性が高いシステム

<求められるセンサシステム像>

【公共施設・商用施設】

- データ解析による劣化診断により、非常時の二次災害防止や設備インフラの早期復旧を支援する安価なセンサシステム・診断システム、また、異常時は異常検知に必要な物理量（振動/変位/温度/流量/発生音/電流/ノイズ等）の計測するシステムが求められる
- 設置環境で動作可能な高信頼電源とセンサ端末の低消費電力化がされ、複数施設の異常検知・診断できるセンサシステムが求められている

<実用化への課題>

【公共施設・商用施設】

- センサ端末及び診断システムの開発、実証試験
- 電波法税制面の優遇等への制度・規制

2.3. センサシステムの効果、インパクト

2.3.1. 効果、インパクトの具体的項目および対象インフラ

＜想定される社会的効用＞

- ◆ 社会インフラの長寿命化に伴う建設費用（の削減）
- ◆ 社会インフラ維持管理に係る人件費の削減
- ◆ プラントの稼働率の向上（点検のための運転停止日数の減少）による生産能力の増加
- ◆ プラントの保守点検費用の削減

＜想定される市場規模＞

- ◆ 橋梁管理システム
- ◆ トンネル管理システム
- ◆ 道路管理システム
- ◆ プラントの保守点検システム

効果、インパクトの検討において、社会公共インフラに関しては、以下の 3 つを対象とした。

- 道路橋
- トンネル
- 道路及び付帯施設

また、プラントに関しては、以下、図表 2.19 の検討から石油化学プラントを対象とした。

図表 2.19 プラント種類による市場、及び事故の比較

○以下の観点から、「石油化学プラント」での事故防止が重要であると考えられる ・プラントの市場規模 ・センサーネットワークの社会的効用(事故の防止)の大きさ				
市場・事故件数、事故規模：◎非常に大きい(多い)、○大きい(多い)、△小さい(少ない)、－データなし				
分類	説明	市場	事故件数	事故規模
電力プラント	発電施設全般（水力、火力）、送電施設、変電施設等	◎	△	－
通信プラント	通信基地局、通信アンテナ、通信回線等	○	－	－
石油化学プラント	石油精製、石油化学、化学製品等の製造施設	○	◎	◎
製鉄プラント	鉄鉄、鉄鋼等の製造施設	△	△	－
貯蔵・輸送プラント	石油備蓄施設、倉庫等	△	○	○
その他	食品業、製紙業、薬品製品製造業、非鉄金属製造業、機械器具製造業、印刷業等に係るプラント	△	△	△

プラントの分類と絞り込み結果
 ・プラントの分類は、以下の資料等を参考にして、産業プラントを中心に整理
 「平成22年度エンジニアリング産業の実態と動向－業種統計速報－」
 （平成22年、財団法人 エンジニアリング振興協会）
 「プラントの制御・監視技術」の技術概論（平成17年、特許庁）
 ・市場、事故件数、事故規模に関しては、次頁以降に詳細を記述

2.3.2. 想定される効果、インパクトの検討

社会公共インフラにおいて、センサシステムを活用してインフラ状態を的確にモニタリングすることにより補修時期や建て替えの要否が明確化され、その結果、より効果的・効率的な維持管理が出来ることによる人件費の削減等の社会的効果が考えられる。さらに、インフラの維持管理の対処方法が、対症療法型から予防保全型に代わっていき、インフラそのものの長寿命化によるコスト削減の社会的効果も予想される。また、プラントにおいては、センサシステムの活用により、運転を停止することなくメンテナンスが出来る可能性があり、その結果、設備の稼働率を向上させ、石油化学産業等の製品出荷額に直接影響を与えるような社会的効果が予想される。

センサシステムの市場規模は、社会公共インフラとプラント共に、インフラにセンサシステムを設置する需要、センサシステムの初期導入費用および保守管理費用等で決定されるが、社会的効果と比較すると小さくなると思われる。

また、社会公共インフラは、社会的損失におけるインパクトが大きい。以下、図表 2.20 に社会インフラ分野における社会的損失におけるインパクトを示す。

図表 2.20 社会インフラ分野における社会的損失におけるインパクト

分野	対象	損失原因	経済的損失の大きさ	算定条件条件	出典(参考資料)
社会インフラ	道路(首都高)	通行止め / 通行規制	約 16 億円 (5 日間)	・首都高タンクローリ火災による通行止めによる経済損失 ・事故発生直後、5 日間の損失を見積もり	国土交通省 関東地方整備局 記者発表資料 「首都高の通行止めに伴う渋滞による経済損失、1 日 3 億円以上」(2008 年 8 月 28 日)
	トンネル	通行止め / 通行規制	約 600 億円 (45 日間)	・笹子トンネルによる通行止めや通行規制による周辺地域の経済活動への影響を算定 ・前面復旧するまでの 45 日間の総計	日本経済新聞電子版「笹子トンネル事故の経済損失は 600 円以上」(2013 年 4 月 3 日)、算定は山梨大学地域防災・マネジメント研究センターの武藤慎一准教授
	道路橋(米国ミネソタ州際高速道路のミシシッピ川橋梁)	人的損失	約 38 億円	・犠牲者への賠償金 ・0.38 億ドルを 100 円/ドルで換算	土木学会論文集 F, Vol.66, No.1, 14-26, 2010. 1 「米国ミネソタ州での落橋事故の社会的影響」
		物的損失(応急復旧)	約 60 億円	・残骸の除去、交通の迂回 ・0.60 億ドルを 100 円/ドルで換算	
		通行止め / 通行規制	約 166 億円 (414 日間)	・時間的損失、交通費用増加 ・不供期間 414 日の総計 ・1.66 億ドルを 100 円/ドルで換算	
		通行止め / 通行規制	約 47 億円 (414 日間)	・周辺地域(州)の総生産減少 ・不供期間 414 日の総計 ・0.47 億ドルを 100 円/ドルで換算	
	道路橋+トンネル	通行止め / 通行規制	約 14 兆円/年	・関門海峡トンネル・橋の交通遮断による交通の阻害状況 ・地域別の実質所得の変化により、国全体での損失を算定	関門海峡道路建設促進協議会、中国経済連合会、(社)九州経済連合会「関門海峡道路の早期実現に関する要望」(2010 年 8 月)

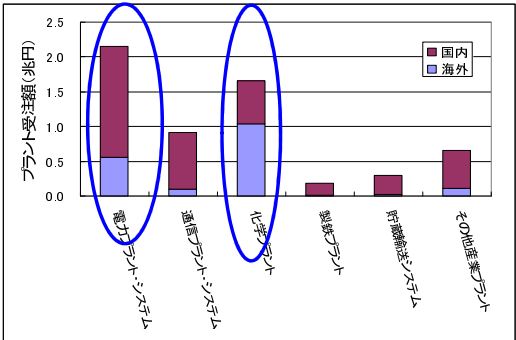
上述の社会的損失の事例より、インフラの社会における役割の重要度によって大きく変わってることが分かる。ただし、公共インフラの事故により人的被害が発生した場合は、損失額では示せない安心、安全面での社会的損失のインパクトが大きい。

<参考データ>

図表 2.21 プラントの市場規模と業種別の事故件数

【プラントの市場規模】

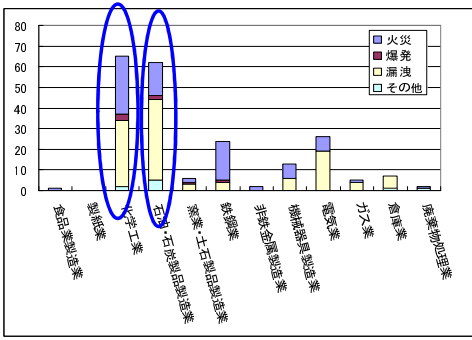
○国内のプラントエンジニアリング産業の業務受注額より、「電力プラント」に続き、「化学プラント」の市場規模が大きくなっていることが伺える



プラント施設別受注額:「平成22年度 エンジニアリング産業の実態と動向 一業務統計速報一」(財団法人エンジニアリング振興協会、平成22年9月)のデータより、グラフを作成

【業種別の事故件数】

○業種別では、「化学工業」、「石油・石炭製品製造業」の事故件数が目立つ
○事後の種別としては、「火災」と「漏洩」の件数が多い



業種別の事故発生状況(一般事故):「石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要(平成23年中)」(消防庁特殊災害室、平成24年)のデータより、グラフを作成

図表 2.22 産業事故の発生状況

【産業事故の発生状況】

○過去10年間の重大事故の発生状況では、化学工業に集中している

発生日	業種	概要	主な被害状況
H15.8.5	食品	食品工場におけるフロンガスの漏洩	軽傷39名
H21.4.15	化学	除害設備からの塩素ガス漏洩	軽傷32名
H21.11.4	化学	三フッ化窒素充填場の爆発、火災	軽傷11名
H23.3.11	石油	地震によりタンクが落下、配管が破損し、LPガス漏えい爆発	重傷1名、軽傷5名
H23.3.12	化学	他事業所の爆風、火災により火災発生	人的被害なし
H23.11.13	化学	塩化ビニルモノマー製造施設の爆発	死者1名、軽傷1名
H23.11.13	化学	オキシ反応工程A系の緊急放出弁の故障により、オキシ反応工程A系が緊急停止。塩酸塔の温度管理がマニュアル等の不備もあり適切にできず、HClにVCMが混入。その結果、後工程の塩酸塔還流槽等で物質が異常反応し、内部圧力が上昇、破裂し、火災、爆発。	死者1名
H24.4.22	化学	用役プラントの停止により、全工場へのスチームが停止、レゾルシンプラントが緊急停止。結果、窒素攪拌を開始し、緊急冷却水に切り替えたが、冷却速度が遅く循環水に切り替えるため、インターロックを解除。攪拌が停止し、液層上部の温度が上昇、急激に反応が進み爆発。	死者1名 近隣住宅999軒に被害
H24.9.29	化学	中間タンクに約60立米の液溜めを実施。温度管理が実施されていなかったため、コイルのない液層上部が冷却されず、不均一な温度分布となり、化学反応が進行し、内部圧力が上昇し、破裂、火災。	死者1名 負傷者36名

主な産業事故の発生状況:「産業事故の発生防止に向けた対応の方向性」(経済産業省商務流通保安グループ、平成25年2月)より、表を作成

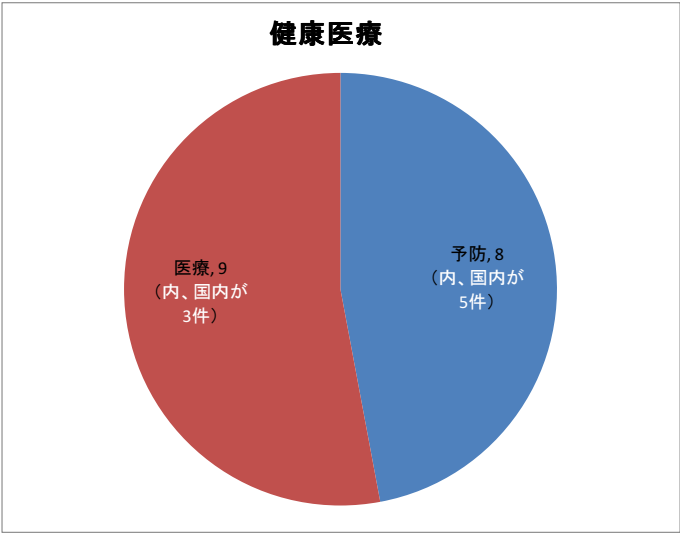
3. 健康医療分野

3.1. 国内外のセンサシステムの技術開発動向

3.1.1. 国内外センサシステム事例集計

Web 等で調査した健康医療分野の国内外センサシステム情報を、予防、医療の2項目で整理した結果を図表 3.1 に示す。見守りは対象者が健常者、高齢者の場合は予防へ、患者の場合は医療に分類した。国内外で予防が 8 件（内、国内が 5 件）、医療が 9 件（内、国内が 3 件）とほぼ同様の件数であった。

図表 3.1 国内外センサシステム事例の分野毎の件数



また、センサシステムをパーソナルヘルスケア、介護、遠隔医療の3項目で整理した結果を図表 3.2 に示す。

図表 3.2 国内センサシステム事例の分野毎の特徴

パーソナルヘルスケア	- 市販の血糖値測定器を携帯電話に接続し、測定データを自動記録 - 活動量計・血圧計・体組成計のデータをスマートフォンに送信、蓄積データを可視化 - 提供されているサービスは基本的にデータサーバーにデータを保存し、データを可視化するものである
介護	- 利用者宅に設置された人感センサーが、あらかじめ設定された生活リズムの異常を検知すると、自動的に情報センターへ通報される - センサが検知した場所を web 上でグラフ表示可能 - 携帯電話などのメールから安否や緊急通報を確認可能

	● 33 都道府県で約 18,200 名が利用中
遠隔医療	● 在宅にて医療機関や医師のアドバイスを受けることが出来るシステム ● 血圧や歩数計等のデータがテレビ電話（フレッツフォン）を介して送信、登録される。グラフ化された健康情報を基に医師や健康管理士、保健師などがテレビ電話を通じて遠隔地から健康アドバイスを行う。 ● NTT ドコモ、亀田総合病院グループなどで共同実証実験を実施済。地域中核医療機関である亀田総合病院と介護サービス施設、調剤薬局及び患者宅をブロードバンドネットワークで結び、医療健康情報の自動登録やテレビ電話を利用した在宅医療を支援する遠隔医療の実現に向けた実証を行った（2012/2/1～3/31）。

3.1.2. センサシステム類似技術

また、本調査対象である介護等で活用されるアシスト関連ロボット事例を以下、図表 3.3 に示す。

図表 3.3 アシスト関連ロボット事例



(出典：HAL(Hybrid Assistive Limb) (サイバーダインウェブページ)

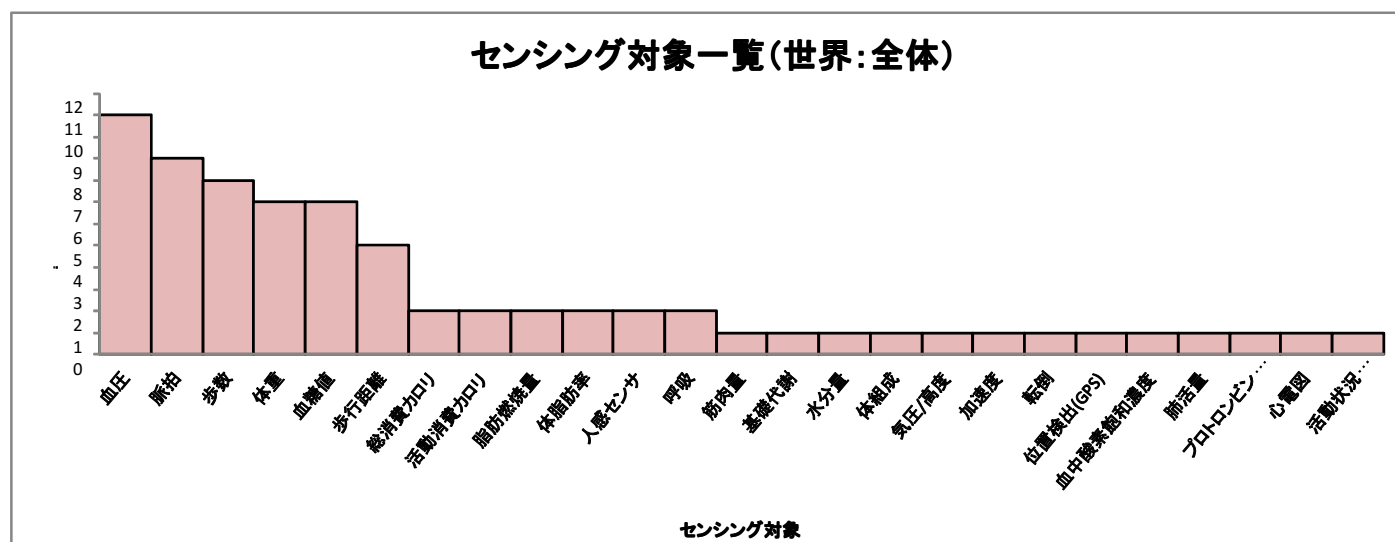
3.1.3. 各種センサシステムの特性比較

各種センサシステムの特性比較を、上述の国内外センサシステム事例から特性比較を行った。特性比較にあたり、使用環境やセンサシステムの機能等について検討を行った結果、センシング対象が最も重要で共通的な特性項目であった。よって、センシング対象を予防と医療の大きく 2 項目に分けて整理した結果を示す。

<センシング対象>

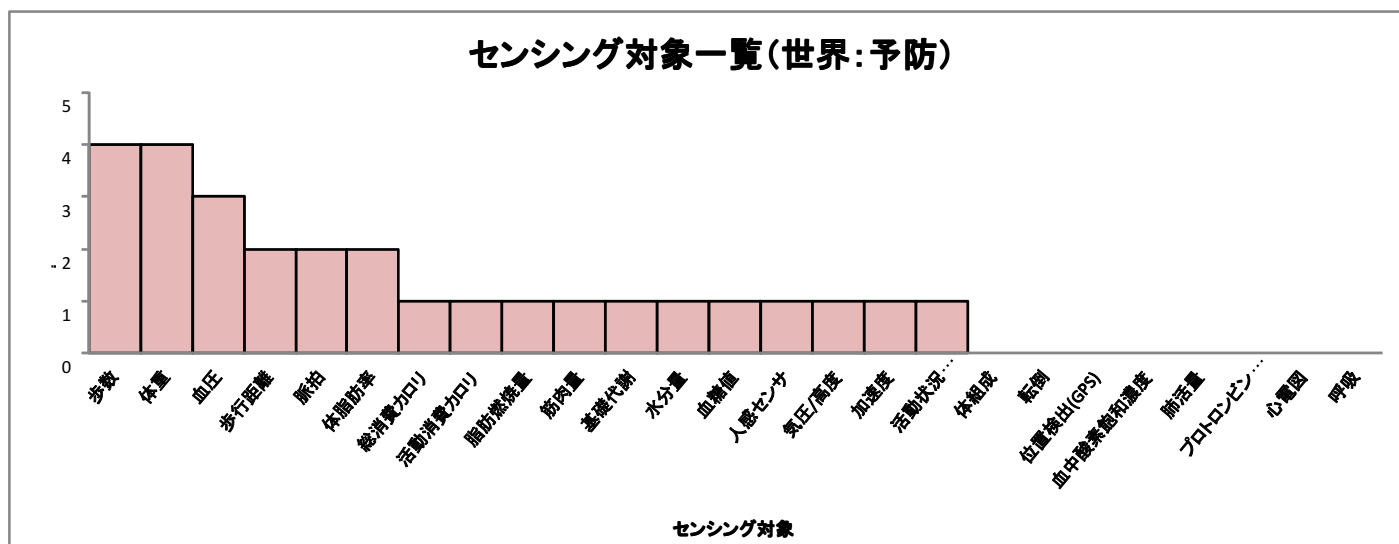
予防に関連するセンシング対象は、体重、歩数、血圧が多く、医療に関連するセンシング対象は、血圧、脈拍、血糖値が多い。よって、血圧は予防、医療の両分野共通でニーズが高いセンシング対象となった。

図表 3.4 健康医療に関連する事例のセンシング対象

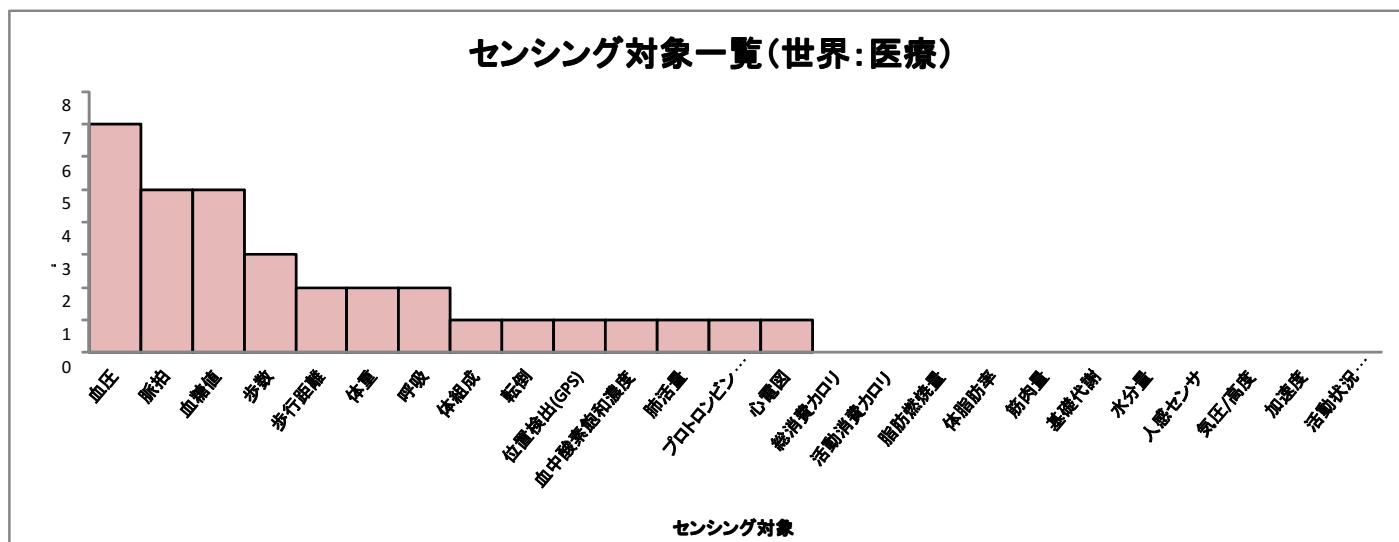


以下、図表 3.5、図表 3.6、に予防、医療に関連する事例のセンシング対象の件数を示す。

図表 3.5 予防に関連する事例のセンシング対象



図表 3.6 医療に関連する事例のセンシング対象



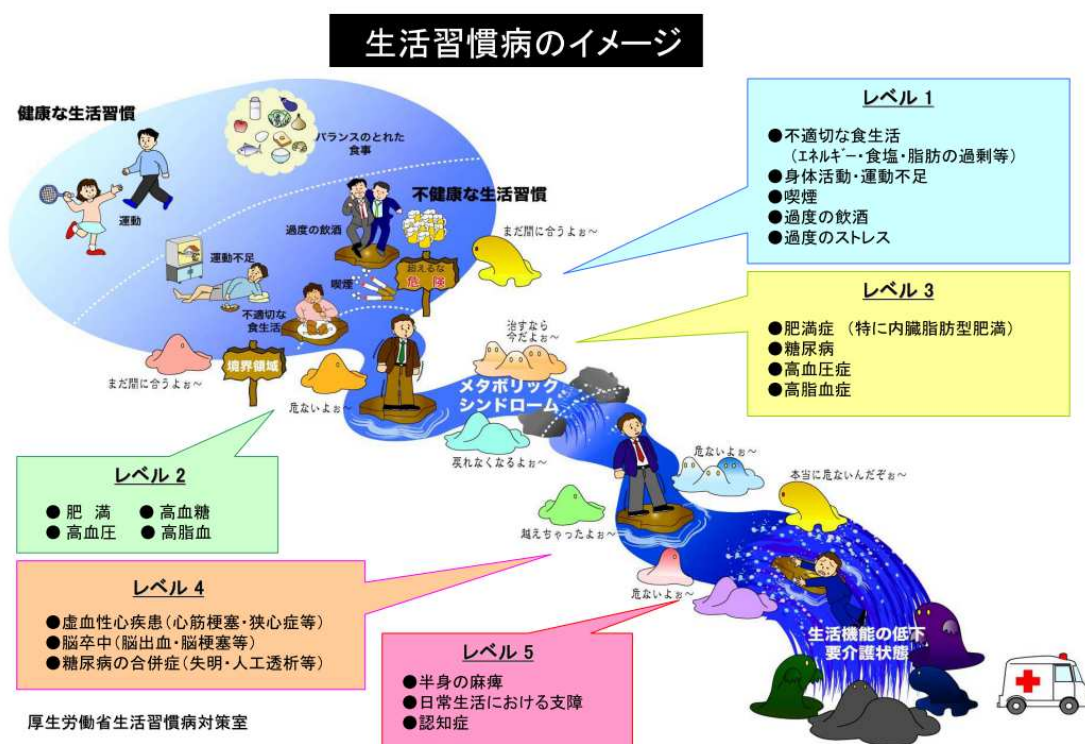
3.2. 各健康医療分野におけるニーズ及び実用化等

文献調査およびユーザへのヒアリング、ワーキング等の情報により、以下に示す4項目の健康医療分野毎、「現状と課題」、「センサシステムへの要望」、「求められるセンサシステム像」、「実用化への課題」の分析整理を行った。

- 生活習慣病一次予防（健康増進・予防・未病分野）… 対象が健常者
- 生活習慣病二次予防（健康増進・予防・未病分野）… 対象が軽症病態者
- 予後管理、リハビリ、介護（三次予防）
- 見守り（福祉）

以下、図表 3.7 に生活習慣病のイメージを示す。

図表 3.7 生活習慣病のイメージ



（出典：厚生労働省生活習慣病対策室 HP）

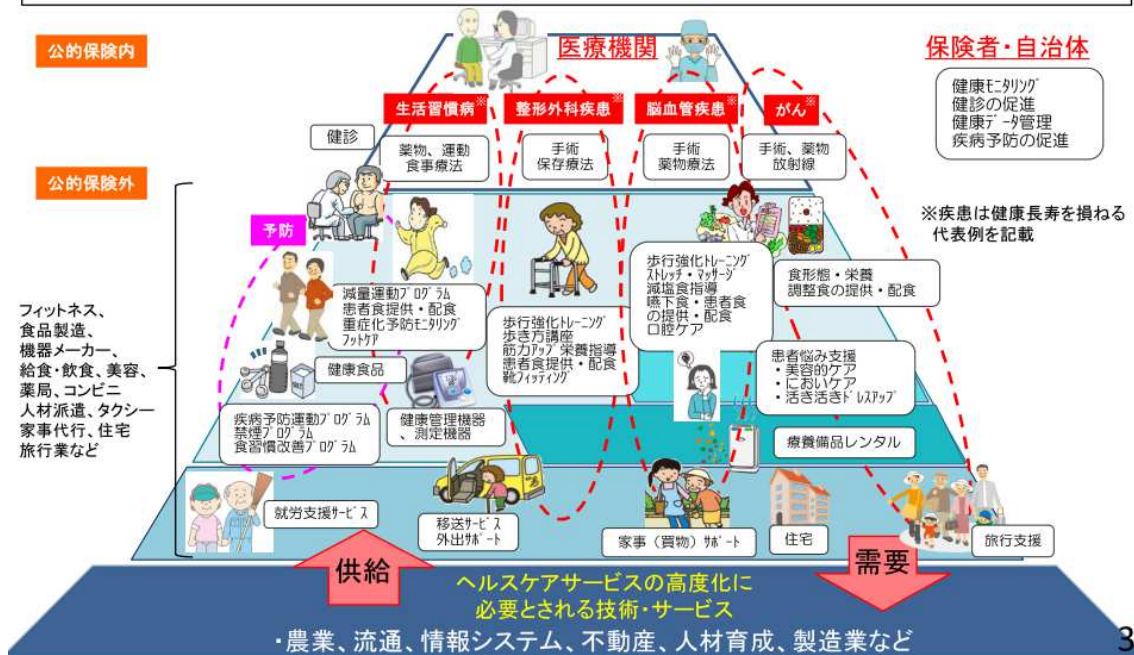
また、診断・治療等の医療分野に関しては様々な取り組みがあり、今後は、健康予防の産業規模が大きくなると思われる。よって、健康予防分野のより大掛かりな社会整備が望まれる事から調査対象を健康予防分野とした。

以下、図表 3.8 に健康予防分野の具体的なイメージを示す。

図表 3.8 健康予防分野の具体的なイメージ

目指すべき健康長寿社会像－新たなヘルスケア産業により実現－

○効果的な疾病予防、健康管理、生活支援サービスなど、多様なヘルスケアサービス・製品（公的保険外）を創出し、国民が健康長寿を享受できる社会を実現する必要がある。



（出典：次世代ヘルスケア産業協議会）

3.2.1. 生活習慣病一次予防¹（健康増進・予防・未病分野）

<現状>

- （心不全、脳卒中の原因となる）高血圧症、高血糖症などは、自覚症状が全くないため、日常の予防活動に無頓着な状況にある（「予防（自主的な生活習慣の改善）」が進まず、患者は増加）
- 定期健康診断において、境界領域（糖尿病では空腹時血糖値 110～125、高血圧症では上 125 以上、下 80 以上）にあっても、経過観察程度の指示で、積極的な「予防」にはつながっていないのが現状である
- 現状、正常値である場合も、日本人中年の平均的生活習慣では、加齢とともに悪化する可能性が高いが、正常値のうちから「予防」努力が行われない状況にある

<課題>

- 日常生活の中で、自然に血糖値・血圧値の上昇傾向などの健康指標を知って、自分の体の状態を把握するシステムと習慣がない
- （現在、正常であっても）加齢とともに生活習慣を改善していかないと悪化すること、予防としてどうするべきか、の啓蒙・教育が必要である
- 自主的な予防活動の成果を評価し、促進させるシステムが必要である
- モチベーションの全くない健常者、自らの健康管理意欲を持つこと、意欲を増進させること、のために、血圧、血液成分（血糖、コレステロール）、体重をいかに簡単に測れるか等の課題がある

<センサシステムへの要望>

- 健常者が日常生活の中でストレスなしに、継続的に測定できること。ストレスがないとは、以下の点がある。
 - ✓ 採血などをしない非侵襲であること
 - ✓ 試薬の補給などが不要なメンテナンスフリーであること
 - ✓ 測定時間が短い（数秒以内）こと
 - ✓ 医療行為の参考になるレベルの精度であること

また、センシング対象としては、血圧、血糖値、コレステロール、心電、心拍、呼吸、体温等を必要な精度で測定出来ることが求められている

1. 健常者を対象に健康を増進し、発病を予防する事。具体的には、高食塩／高脂質／低運動／過剰栄養／飲酒・禁煙等により高血圧／高脂血／高血糖／初期がん／高尿酸血等へ陥らない様に予防する事

- 長期モニタリングが可能で、測定されたデータが自動的に蓄積・分析され、健康状態・予防努力を評価し、日常生活の的確なタイミングでアドバイスを行ってくれる安価なセンサシステムへの要望がある

＜求められるセンサシステム像＞

- 非侵襲血糖値（脂質）センサシステム
 - ✓ 日内変動に埋もれてしまわないで平均的血糖状態の長期的な変化が記録できる
 - ✓ 試薬など補給・交換が不要で、継続的に使える
 - ✓ 健康状態の評価、アドバイスを行ってくれる
- 心電・心拍センサシステム
 - ✓ 日常生活で心臓発作の予兆検知、予防措置ができる
 - ✓ 迅速な医師・医療機関への緊急通報が可能
 - ✓ 長期モニタリング（様々な時間軸での測定）結果をもとに急変（や急死）の兆候を事前に捉える
- 呼吸、血圧、体温センサシステム
 - ✓ 日内変動やメンタルファクターの影響を排除した平均的血圧状態の長期的な変化が測定・記録できる
 - ✓ カフ装着など面倒な手間かからず、数秒程度で1回の測定ができること
 - ✓ 健康状態の評価、アドバイスを行ってくれる
 - ✓ 利用者負担が極めて軽減（面倒だと利用しない）されている
 - ✓ 血圧の常時モニタリングによる循環器系疾患の予防・予知

＜実用化への課題＞

- センサデバイスおよび製造プロセスの開発。ネットワークシステム（IF およびソフトウェア）の構築（医学的意味づけとセンシング工学の連携融合が重要で並行して取り組む必要あり）
- 薬事のクリアを想定した方式
- システム活用に前向きな医師の協力
- システム活用に前向きな健康保険組合、スポーツジムなどのヘルスケアサービス機関の協力
- 薬事法、診療報酬（健康健保法）、個人情報保護法、介護保険等の制度・規制

3.2.2. 生活習慣病二次予防²（健康増進・予防・未病分野）

<現状>

- 血圧測定は間欠的な測定（検診時、受診時等）が殆どである
- 血圧の上昇により指数関数的に患者の危険度は高まる
- 高血圧患者は 4000 万人とも言われており、非常に多い

<課題>

- 血圧は昼夜差、1 週間、1 ヶ月、季節などの変動をみることが重要である
- 血圧は地域差（高地、低地、寒冷地、温暖地など）があるので、その分析も必要である
- 常時測定による病気診断基準の改変が必要である
- 高齢者同士の健康セルフケアが必要である
- 超高齢化社会になった場合、医者の高齢化、患者増による入院先の不足、未病患者の増加などの問題がある
- 個人で測定した結果によるボトムアップからの医師のレベル向上が必要である
- さまざまなバイタルサインデータから医学的意味合いを見分ける臨床的裏付けを得ることが必要である

<センサシステムへの要望>

- 軽症病態者が日常生活の中で、非侵襲で面倒なく継続的に測定できること。また、センシング対象としては、血圧、血糖値、心電、心拍、呼吸、体温等を高い精度で測定出来、それぞれの変化率も把握できる
- センサシステムが長期モニタリングに可能で、測定されたデータが自動的に蓄積・分析され、健康状態・予防努力を評価し、日常生活の的確なタイミングでアドバイスを行ってくれる安価なセンサシステムへの要望がある

<求められるセンサシステム像>

- 非侵襲血糖値（脂質）センサシステム
 - ✓ 測定精度が高い、データの蓄積により傾向の見える化がされていて、日内変動が連続的に記録できる
 - ✓ 試薬など補給・交換が不要で、継続的に使える
 - ✓ 血糖値に応じて、インスリンなど投薬のアドバイスを行ってくれる

2. 軽症病態者を対象に病態を早期発見し、早期治療を行う事。具体的には、高血圧高脂血／高血糖／初期がん／高尿酸血等により脳出血／心筋梗塞／糖尿病／進行がん／痛風等の重症疾患に進展しない様に予防する事

- 心電・心拍センサシステム
 - ✓ 日常生活で心臓発作の予兆検知、予防措置ができる
 - ✓ 迅速な医師・医療機関への緊急通報が可能
 - ✓ 長期モニタリング（様々な時間軸での測定）結果をもとに急変（や急死）の兆候を事前に捉える
- 呼吸、血圧、体温センサシステム
 - ✓ 降圧剤などの投薬のアドバイスをしてくれる
 - ✓ 脈圧波形が連続的にモニターできること
 - ✓ 患者に測定を意識させないこと
 - ✓ 長期モニタリング（様々な時間軸での測定）結果をもとに急変（や急死）の兆候を事前に捉える
 - ✓ 血圧の常時モニタリングによる循環器系疾患の予防・予知
- 通院患者以外の多数患者の一括モニタリングシステム
 - ✓ 多数の患者を常時モニタリングし、病状が悪化する前に適切な処置を施す
 - ✓ 利用者負担軽減（面倒だと利用しない）
 - ✓ 通院困難者（お年寄り、要介護者、遠隔地等）の健康状態を常時モニタリングし、健康維持のためのアドバイスを与える

<実用化への課題>

- センサデバイスおよび製造プロセスの開発・病院ネットワークシステム（IF およびソフトウェア）の構築
- 定期健康診断との連携
- 医師指導による投薬管理との連携
- 入院患者モニターの協力
- 上記の1次予防システムと連携
- 薬事法、診療報酬（健康健保法）、個人情報保護法、介護保険等の制度・規制

3.2.3. 予後管理、リハビリ、介護（三次予防³）

<現状>

- 少子高齢化に伴う高齢者の寝たきり増加（2010 年高齢者寝たきり者数約 170 万人）による、歩行リハビリに対する需要が増大している
- 介護保険料や医療費が増加している
- 介護が女性の労働参加促進を阻害している（在宅介護の約 75%が女性）

<課題>

- 歩行リハビリを行う理学療法士の負担軽減とリハビリ自体の効率化が必要である
- 通院困難者（お年寄り、要介護者、遠隔地等）の健康状態監視が必要である
- リハビリで転倒の予兆把握が必要である
- 音を検出して歩容の把握が必要な場合もある
- 専門施設でのリハビリを家庭内などで延長し改善効果を上げたいが、退院後は急速に効果が減退する場合があります問題である

<センサシステムへの要望>

- 血圧、血糖値、心電、心拍、呼吸、体温、等を高い精度で測定でき、二次予防と同じ様に日常生活の的確なタイミングでアドバイスをしてくれる安価なセンサシステムの要望がある
- 筋電、痛みやストレス等を高い精度でセンシングでき、それにより麻痺部位の筋量計測と神経麻痺部位の特定と筋力低下を把握できる
- 多数の対象者を、モーションキャプチャーによる高精度歩容計測（大規模モーションデータの高精度解析）できる

<求められるセンサシステム像>

- リハビリ機器と連携可能なセンサシステム（例：筋電測定）
 - ✓ 筋電測定が出来る事
 - ✓ リハビリ状態の把握が出来る事
- 痛み、ストレス計測センサシステム
 - ✓ 痛みやストレスの度合いをリハビリにフィードバック出来る事
 - ✓ 脳波計測等による定量評価によるフィードバック
 - ✓ ロボットと連携したセンサシステム（ロボットは「人ができないことをやる」という視点を生かした）

3. 発病後、進行を抑制し、再発や重症化を防ぎ機能を一部回復させる事。具体的には、脳出血／心筋梗塞／糖尿病／進行がん／痛風等の進行を抑制し、再発や重症化を防ぎ、機能を一部回復させる事

- 多数の患者の一括モニタリングシステム
 - ✓ 多数の患者を常時モニタリングし、病状が悪化する前に適切な処置を施す
 - ✓ 利用者負担軽減（面倒だと利用しない）
 - ✓ 通院困難者（お年寄り、要介護者、遠隔地等）の健康状態を常時モニタリングし、健康維持のためのアドバイスを与える

＜実用化への課題＞

上述の生活習慣病二次予防と同様

3.2.4. 見守り（福祉）

見守りは、歩行困難者と認知症患者を対象とした。

<現状>

【歩行困難者】

- 少子高齢化に伴う高齢者の寝たきり増加による、歩行困難者の増加
- 転倒防止の取り組みが重要

【認知症患者】

- 高齢化等による認知機能（視力、聴力、注意障害など）の低下
- 介護保険料や医療費の増加

<課題>

【歩行困難者】

- 歩行困難者の行動監視が必要である
- 老人の衰えは早く、月や週の単位でも筋力が低下を監視する必要がある

【認知症患者】

- 転倒リスクの増大が問題である
- 転倒・骨折などにより寝たきり状態へならない対策が必要である
- 介護士の重作業化への対応が必要である
- 遺伝的可能性と血液分析による予兆検出の可能性検討
- 行動把握による疾病症状把握

<センサシステムへの要望>

- 歩行履歴、筋量等を高い精度で測定でき、日常生活の的確なタイミングでアドバイスをしてくれる安価なセンサシステムへの要望がある
- 行動状況等を高い精度で測定でき、測定されたデータが蓄積、分析され、行動状態を予測し見守り者へアドバイスをしてくれる

<求められるセンサシステム像>

- 転倒防止センサシステム
 - ✓ 離床だけでなく、活動範囲のあらゆる場所に使用可能で行動予測が可能
- 徘徊防止センサシステム
 - ✓ 行動予測が可能で、介護士の作業軽減、効率化に繋がるシステム

<実用化への課題>

- センサデバイスおよび製造プロセスの開発
- 患者モニターの協力
- 健康保険組合、スポーツジムなどのヘルスケアサービス機関の協力
- 薬事法、診療報酬（健康健保法）、個人情報保護法、介護保険等の制度・規制

3.3. センサシステムの効果、インパクト

3.3.1. 効果、インパクトの具体的項目

＜想定される社会的効用＞

- ◆ 生活習慣病の発症予防による医療費の削減
- ◆ 生活習慣病の発症予防による介護費の削減
- ◆ がんの早期発見による医療費削減

＜想定される市場規模＞

- ◆ 生活習慣病のモニタリングシステム
- ◆ がん早期発見モニタリングシステム

3.3.2. 想定される効果、インパクト

センサシステムを用いて健全者の健康状態をきめ細かくモニタリングすることにより、生活習慣病への対処方法が、発症後の対症療法型から発症を未然に防ぐ予防型へ代わっていき、健康寿命の増加という、波及効果が大きいと考えられる社会的効果が期待される。

センサシステムの市場規模は、センサシステムの需要、初期導入費用および運用費用等で見積もられる。センサシステム利用対象者を生活習慣病の一次予防から三次予防までの対象者に想定すると、ほぼ国内の 20 歳以上の全員がセンサシステムを利用することになり得るので、センサシステムの市場規模は、人々の健康予防への意識に大きく影響すると思われる。

また、社会的効果は、以下図表 3.9 に示す健康医療分野における社会的損失におけるインパクトも重要である。

図表 3.9 健康医療分野における社会的損失におけるインパクト

分野	対象	損失原因	経済的損失 の大きさ	算定条件条件	出典(参考資料)
健康医療	生活習慣病 (喫煙要因)	超過医療費	1 兆 3,086 億円/年	・喫煙が原因となる病気に関する医療費の増加分を算定	厚生労働省 医療構造改革関連資料 生活習慣病対策(総論)関係 (数値データは「平成 13 年度厚生労働科学研究費補助金 たばこ税増税の効果・影響等に関する調査研究報告書」を引用している)
		超過死亡数	11,4000 人/年	・喫煙が原因となる死亡数を算定	
		労働力損失	5 兆 8,454 億円/年	・病気・死亡等による労働力減少による損失	
	自殺・うつ	所得の減少 社会保障	2 兆 7 千億円/年	・以下の合計値 →2009 年に自殺した方の生涯所得の推計額	厚生労働省 報道発表資料「自殺・うつ対策の経済的便益(自殺やうつによる社会的損失)」(2010 年 9 月 7

		費の増加		→うつ病によって 2009 年に 必要となる失業給付、医療給 付の減少額の合計	日)
		GDP の 減少	1 兆 7 千億 円/年	・約 3 万 1 千人で推移している 自殺死亡者数がゼロになった と仮定し、単年度の GDP 引き 上げ効果を算定	

上述より、生活習慣病による労働力損失や自殺・うつによる所得減少等のインパクトが大きく、その改善に向けた対応が求められる。

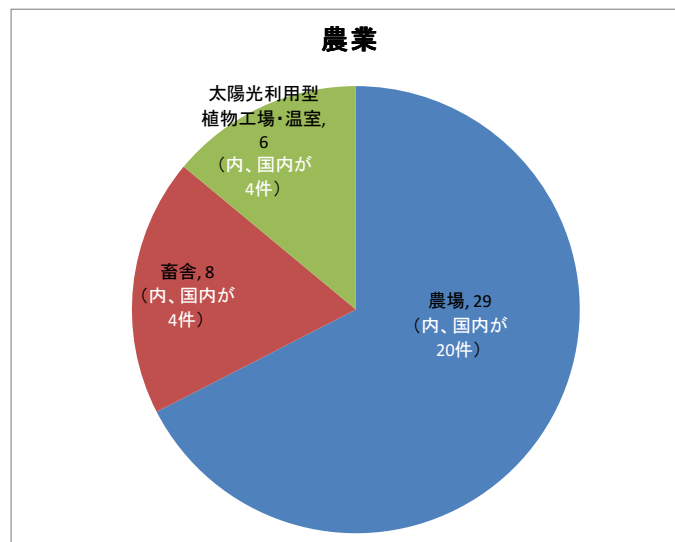
4. 農業分野

4.1. 国内外のセンサシステムの技術開発動向

4.1.1. 国内外センサシステム事例集計

Web 等で調査した農業分野の国内外センサシステム情報を、センサシステムの種類毎に太陽光利用型植物工場・温室⁴、農場、畜舎の 3 項目で整理した結果を図表 4.1 に示す。国内外で農場が 29 件（内、国内が 20 件）、畜舎が 8 件（内、国内が 4 件）、太陽光利用型植物工場・温室が 6 件（内、国内が 4 件）であった。

図表 4.1 国内外センサシステム事例の分野毎の件数



⁴ 温室とは、プラスチックハウス（通称ビニルハウス）とガラス室の総称であり、一般的な施設園芸の形態

また、センサシステムの共通な特徴が多かった GPS ガイダンス、農地測量、トレーサビリティ、ハウス環境管理、農場環境管理の5項目で整理し、その特徴を以下、図表 4.2 に示す。

図表 4.2 国内センサシステム事例の分野毎の特徴

GPS ガイダンス	● トラクターなど農業機械に GPS システムを取り付け、圃場等情報に基づき整備支援を行うシステム ● 夜間作業等にも活用可能 ● ハンドルに取り付けたモーターを制御することで自動操舵を可能とするシステムもある
農地測量	● 圃場形状、面積を GPS を用いて計測するシステム ● 作業機の走行距離や作業面積の計測も可能 ● 超音波式土壌貫入計や土壌水分計と組み合わせたシステムもある ● 農協や自治体、個人生産者向け
トレーサビリティ	● 養豚トレーサビリティシステム。固体毎に発育状況を把握することが可能。防疫効果の向上、出荷日数の短縮、餌代の削減等の効果。その他、生産履歴情報を消費者に提供可能となるためブランド保護にも役立っている。 ● IC タグを用いた食品（食肉、乳製品、農作物等）の品質管理（生産から販売まで）。生産履歴が付随。
ハウス環境管理	● 温度・湿度・日射量・炭酸ガスなどの計測・遠隔監視。風向・風速・気温などの計測。 ● 空調異常などハウス内環境制御機器の計測・遠隔監視。 ● 各種装置の遠隔制御。 ● 測定・計測情報はパソコンやスマートフォンで確認可能
農場環境管理	● 気温・湿度・日射量・土壌温度・土壌水分・降水量・電気伝導度・PH 値・肥料濃度などの測定 ● 圃場のカメラによる撮影 ● 測定されたデータはクラウドにて自動収集・蓄積され、グラフ化される

4.1.2. 海外センサシステム事例

Web 等で海外センサシステム事例の収集した結果を、以下、図表 4.3 に海外センサシステム事例の一部を示す。センサシステム件数は8件であるが複数に活用可能な事例が4件ある。

図表 4.3 海外センサシステム事例一覧

分野	研究・実証機関	機関国籍	フェーズ	プロジェクト名/製品名	導入先	目的	センシング対象(物理量等)	システム化	センサー設置状況	特徴	参考文献等
畜舎	マドリード工科大学	スペイン	研究開発	—	—	・家畜(豚)の輸送時の環境(気温・湿度)への生体に及ぼす影響の観察	・温度、湿度	—	・農場 ・運送中のトラック ・処理場	—	http://www.mdpi.com/1424-8220/9/6/4728
農場 太陽光利用型 植物工場・ 温室 畜舎	豪連邦科学産業研究機構(CSIRO)	オーストラリア	研究開発	—	—	・農場・畜産等の環境情報の収集、及び予測 ・自動的な品質管理	・降雨量 ・風速/風向 ・温度 ・湿度 ・照射量 ・土壌塩分濃度 ・土壌水分量 ・水質 ・家畜の場所、等	・ワイヤレスセンサによる情報収集 ・ノードから収集した生のデータをCSIROのWebページ上でビデオストリーミングとして可視化 ・CSIROのWebサイトから予測のためのツールの利用が可能	—	・通信範囲は12km以上 ・通信速度は3Mbps ・農家支援ソリューションを提供(灌漑、植え付け/育種、作物価格の把握、肥料・農薬使用の適正化)	http://www.csiro.au/Outcomes/ICT-and-Services/National-Challenges/Sensors-and-network-technologies.aspx
農場 太陽光利用型 植物工場・ 温室	フラウンホーファ	ドイツ	研究開発	—	—	・スマート農業による農業生産性の向上 ・各種センサーと地理データ、気象データ等の融合によるソリューションの提供	不明	・ワイヤレスセンサネットワーク ・センシング情報の解析のためのアルゴリズム・ソフトウェア開発	—	—	http://www.fcm.fraunhofer.de/en/beispiele/11/drahtlose_sensornetzeinderland-undforstwirtschaft.html

4.1.3. センサシステム類似技術

センサシステム類似技術として代表的な技術として農業用ロボット技術がある、以下、図表 4.4、図表 4.5 に農業用ロボット事例の一部を示す。

図表 4.4 定置型イチゴ収穫ロボット事例

定置型イチゴ収穫ロボットを開発-大幅な省力化に期待-



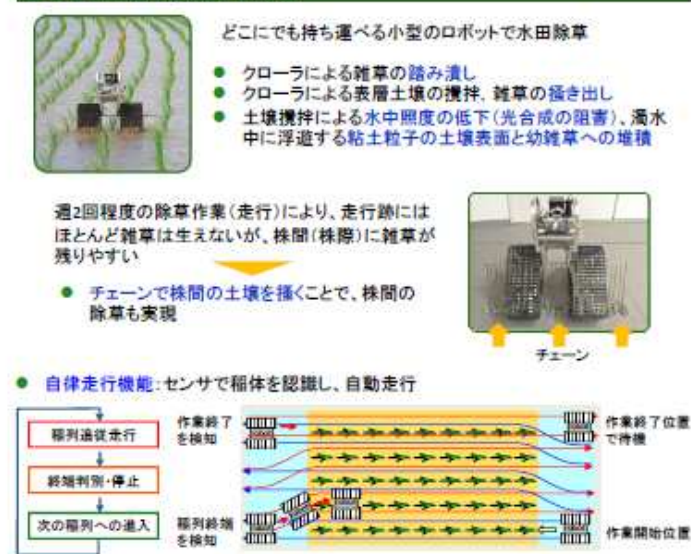
イチゴの全労働時間のうち、収穫作業は1/4程度を占めています。農研機構 生物系特定産業技術研究支援センターは、シブヤ精機株式会社、愛媛県農林水産研究所と共同で、その自動化に取り組み、定位置で自動収穫を行う定置型イチゴ収穫ロボットを開発しました。循環式移動栽培装置と組み合わせたロボットシステムは、画像処理で収穫適期の果実のみを収穫します。判別装置の改良により昼間の収穫が可能となり、稼働時間の拡大を達成しました。また、ロボットの低コスト化も実現しました。大幅な省力化が期待されます。

(出典：(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 HP 研究情報 社会にインパクトのあった研究成果
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/impact/index.html>)

図表 4.5 水田用小型除草ロボット事例

水田用小型除草ロボット アイガモロボット

アイガモロボットの除草機能



- どこにでも持ち運べる小型のロボットで水田除草
- クローラによる雑草の踏み潰し
- クローラによる表層土壌の攪拌、雑草の掻き出し
- 土壌攪拌による水中照度の低下(光合成の阻害)、濁水中に浮遊する粘土粒子の土壌表面と幼雑草への堆積

週2回程度の除草作業(走行)により、走行跡にはほとんど雑草は生えないが、株間(株際)に雑草が残りやすい

- チェーンで株間の土壌を掻くことで、株間の除草も実現

自律走行機能: センサで稲体を認識し、自動走行

稲列追従走行 → 作業終了を検知 → 終端判別・停止 → 次の稲列への進入

作業終了位置で待機

作業開始位置

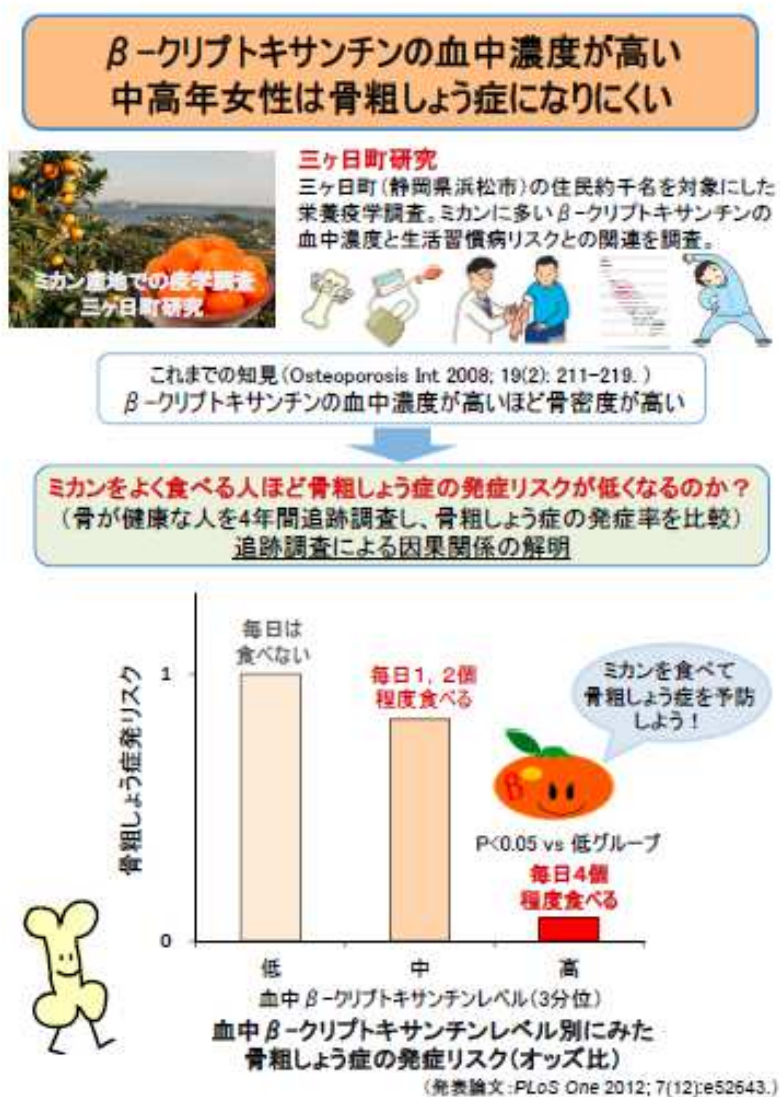
稲列終端を検知

(出典：2011 年農林水産研究成果 10 大トピックス HP

http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/pdf/111222_1-14.pdf)

また、類似技術として、農産物の成分分析により健康予防や旨みの向上につながる技術もある。以下図表 4.6 に成分分析技術活用の一部事例を示す。

図表 4.6 成分分析技術の活用事例



(出典: 2013 年農林水産研究成果 10 大トピックス HP)

<http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/pdf/131216-07.pdf>

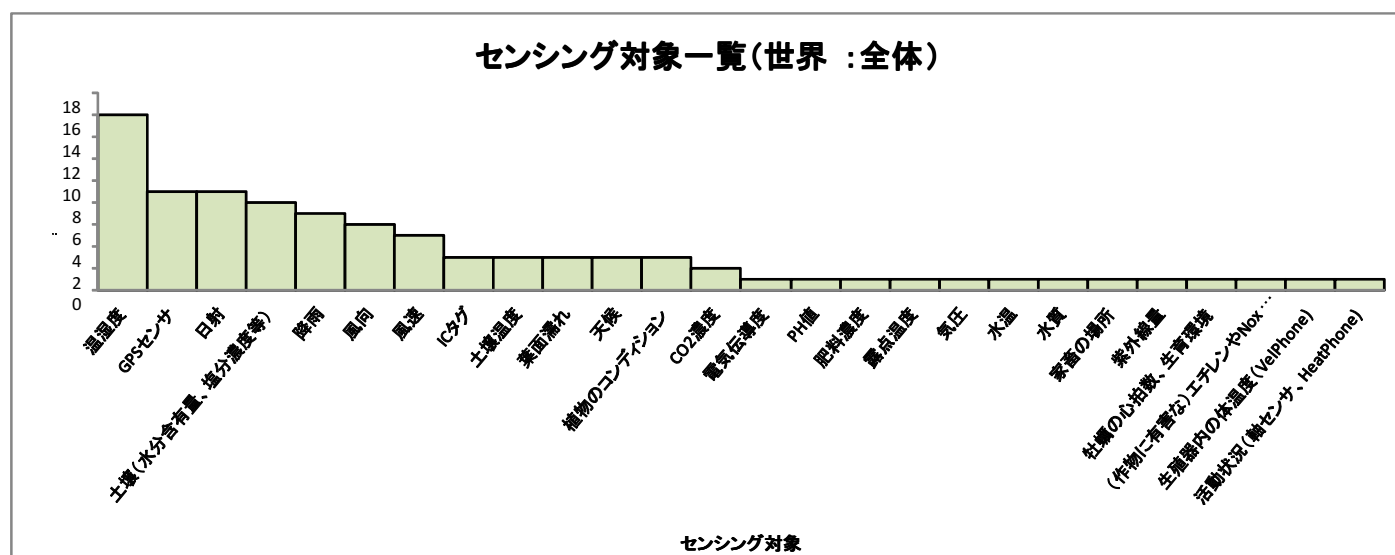
4.1.4. 各種センサシステムの特性比較

各種センサシステムの特性比較を、上述の国内外センサシステム事例から特性比較を行った。特性比較にあたり、使用環境やセンサシステムの機能等について検討を行った結果、センシング対象が最も重要で共通的な特性項目であった。よって、センシング対象を農場、太陽光利用型植物向上・温室、及び畜舎の大きく3項目に分けて整理した結果を示す。

<センシング対象>

以下、図表 4.7 に農場、太陽光利用型植物向上・温室、畜舎で収集した事例全体のセンシング対象の件数を示す。全体では、温湿度、気温、土壌（水分含有量、塩分濃度等）、日射がセンシング対象としては上位であった。

図表 4.7 農業に関連する事例のセンシング対象

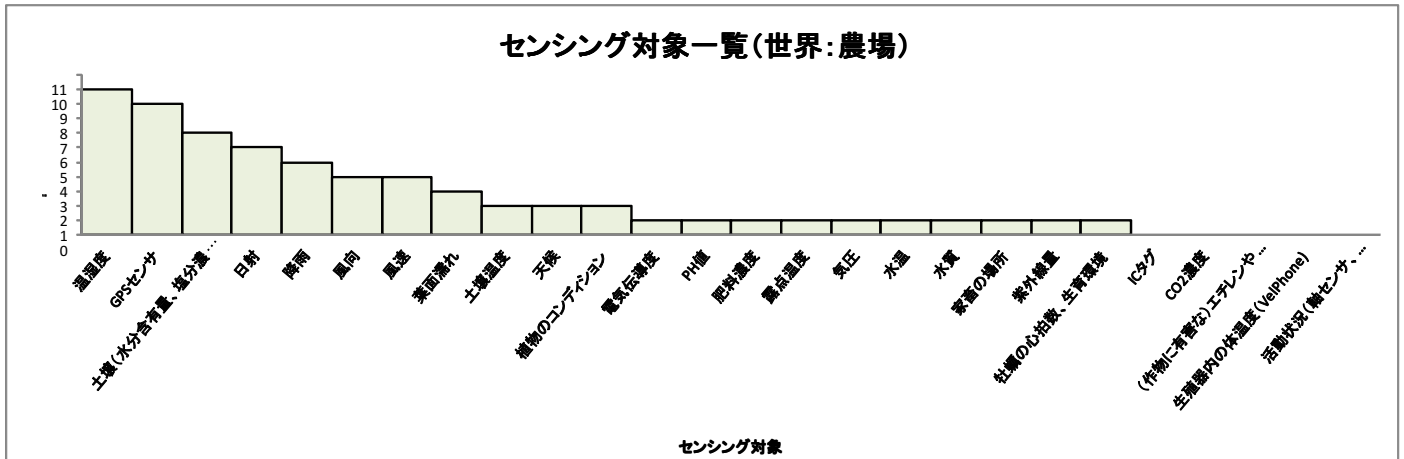


農場に関連するセンシング対象は、温湿度、気温、土壌（水分含有量、塩分濃度等）、日射が多い。

以下、図表 4.8 に農場に関連する事例のセンシング対象の件数を示す。

また、太陽光利用型植物工場・温室、畜舎も農場とほぼ同様の結果であった。

図表 4.8 農場に関連する事例のセンシング対象



以下、図表 4.9 に環境計測、生育状況計測ごとセンサシステムに求められる重要度を示す。

図表 4.9 センサシステムに求められる重要度

分類	項目		重要度
環境計測			
	応答速度		△
	耐久性		○
	耐候性		◎
	多点	露地農業	◎
		施設園芸・畜舎	△
	ワイアレス		◎
	遠隔監視	露地農業	◎
		施設園芸・畜舎	△
生育状況計測			
	速度・頻度		△
	非破壊・非接触	露地農業	○
		施設園芸・家畜	◎
	個体	植物	△
		家畜	○
	群落	植物	◎
	診断ソフトウェア		◎

(出展：農業ワーキング後藤 WG 長講演資料)

4.2. 各農業分野におけるニーズ及び実用化等

文献調査およびユーザへのヒアリング、ワーキング等の情報により、” 農業分野における主な社会課題” の整理を行った上で、以下に示す 4 項目（場所で分類）の農業分野毎、「現状と課題」、「センサシステムへの要望」、「求められるセンサシステム像」、「実用化への課題」の分析整理を行った。

- 完全人工光型植物工場
- 太陽光利用型植物工場・温室⁵
- 農場
- 畜舎

尚、畜舎の調査対象は、センサシステムへのニーズの高さと多様性から牛舎を代表として行い、鶏舎は、鳥インフルエンザ等のウィルスに係る衛生管理面で調査を行った。

4.2.1. 農業分野における主な社会課題

農業分野の主な社会課題、およびそれに伴う問題点やニーズを以下に整理した。

- 我が国社会の少子高齢化の進展を背景とした農業従事者の高齢化・後継者不足による担い手不足により、
 - 熟練した農業従事者のノウハウの継承が出来ていない
 - 農業従事者が減少に伴う耕作放棄地の増加等の問題点に繋がっている。
- 地球温暖化や異常気象による作物栽培への影響の増加など、天候に左右された生産性による食の安定供給のための
 - 肥料・飼料・薬品等の適切な利用、最適出荷タイミングの把握（旬かどうか）、などを通じて効率化・高品質化（同じ成分になっているか）・歩留り向上等のニーズがある。
- 国民の食の安全・安心への関心の高まりにより
 - 消費者に届いたときに最適な品質となるようなトレーサビリティ含めた測定
 - 農薬を使用しない農業
 - 家畜の感染症や生産病等の早期発見、予防
 - 食の安全を守るために、抜き打ちで生産物の安全性を計測して、消費者に提供する等のニーズがある。
- 収益性の向上と農業の活性化のための第一次産業から第六次産業化⁶への脱却のための
 - 生産、加工、販売、管理のシステム化

⁵ 温室とは、プラスチックハウス（通称ビニルハウス）とガラス室の総称であり、一般的な施設園芸の形態

⁶ 六次産業化とは、農業、水産業は、産業分類では第一次産業に分類され、農畜産物水産物の生産を行うものとされている。だが、六次産業は、農畜産物、水産物の生産だけでなく、食品加工（第二次産業）、流通、販売（第三次産業）にも農業者が主体的かつ総合的に関わることによって、加工賃や流通マージンなどの今まで第二次・第三次産業の事業者が得ていた付加価値を、農業者自身が得ることによって農業を活性化させようというものである

- 植物工場、家畜の健康管理システムの輸出
 - 生産物のブランド化
- 等のニーズがある。

また、農業従事者の共通課題として労働生産性、安全性のニーズがある。以下に、労働生産性、安全性の調査結果を示す。

＜現状＞

- 農業分野において労働管理システムの導入はまだ一部であるが、施設園芸では労働管理システム（誰がどれくらい生産したかなどの把握）の導入例では、2割くらい生産性が上がるといわれている
- 熱中症による事故や農業機械での事故などがある

＜課題＞

- 生育状態、生産プロセスに合わせた最適な労働人員のアサイン、無駄の削減
- 労働者（高齢者等）の安全監視

＜センサシステムへの要望＞

- バイタルサイン（体温、血圧等）及び生育状態用センシング
- センサの耐候性、耐久性
- センサ情報がワイアレスで情報発信・受信でき、診断ソフトウェアとの連携可能なシステム
- 安価なセンサシステム

＜求められるセンサシステム像＞

- 労働生産性向上のためのシステム
労働状況（活動）をセンシングし労働状況を監視するシステム
- 労働者安全監視システム
労働環境が厳しく、特に高齢者を対象にバイタルサインをセンシングして労働安全管理を行うシステム

＜実用化への課題＞

- センサシステム開発の販売価格を見込んで、適正価格を可能にする開発
- 実用化、普及に必要となる企業（商社、現地代理店、流通、金融等）の参画
- 国内外マーケットへの販売を視野に入れた実用化検討
- 労働基準法等のセンサシステム実用化、普及に関連する制度・規制等がある。

上述の「国内外マーケットへの販売を視野に入れた実用化検討」等における海外展開に関する課題は、農業全般において重要課題である。

4.2.2. 完全人工光型植物工場

<現状>

- 収穫周期が短く、光量が少なくても生産できる葉物野菜を主流として、環境を制御して生産性をあげる試みをするも露地野菜との価格差があり、安全・安心や水洗い不要等の特徴をPRするも植物工場産の優位性を出しきれず苦戦
- 露地野菜との差別化ができる高付加価値植物（低カリウム野菜等の機能性野菜や薬用植物等の高付加価値植物、葉物以外のイチゴ等）の生産への取り組みにシフトの傾向

<課題>

- 露地野菜に比べて価格が高くなる傾向
- 植物工場ならではの付加価値が提供できていない
- 電気代の高騰により経費が増加傾向にあるため、エネルギーマネジメント、使用エネルギーを把握し、省エネのための制御が必要
- 高付加価値植物の栽培ノウハウが確立されていない
- 汚染物質混入の回避
- 病虫害の混入防止による無農薬栽培
- 温度、湿度、CO₂等の監視
- ストレスコントロールが必要、そのためのデータベース整備が必要

<センサシステムへの要望>

- 高付加価値植物を低コストで安定生産できるセンサシステムへの要望がある。センシング対象は、室内の光質、光強度、光量、気温、湿度、CO₂、気流
- 植物の生育状態、成分等がリアルタイムに非破壊で簡単に測れる安価なセンサシステムが欲しい、また、非破壊・非接触技術の向上の対象として、葉色、葉の表面、温度、葉の面積、花の数（果菜類）、光合成速度、蒸散速度、水分ポテンシャル、糖度、（出来れば、）葉構造、クロロフィル蛍光、無機成分、ビタミン・機能性成分

<求められるセンサシステム像>

- 生育環境モニタリングシステム
植物周りの環境（光質、光強度、光量、温度、湿度、CO₂、気流等）をモニタリングしながら高付加価値植物に適した環境に制御する耐久性に優れたシステム
- 生育状態監視モニタリングシステム
葉色、葉の表面、温度、葉の面積、花の数（果菜類）、光合成速度、蒸散速度、水分ポテンシャル、糖度、（出来れば、）葉構造、クロロフィル蛍光、無機成分、ビタミン・機能性成分のセンシングを非破壊・非接触技術が向上され、耐候性、耐久性に優れ、ワイアレスで、群落で診断ソフトウェアとの連携された生育環境・状態監視システム

<実用化への課題>

- 高付加価値植物の生育環境・状態監視モニタリングシステムの開発と最適栽培データベースの構築・整備
- 生育、代謝を促進させる適度なストレス制御技術の開発を完了し、植物に与える制御された各ストレスの付与機器の調達及び製造メーカの開拓
- 国内外マーケットへの販売を視野に入れた実用化検討

- 食品衛生法、労働基準法等のセンサシステム実用化、普及に関連する制度・規制

4.2.3. 太陽光利用型植物工場・温室

<現状>

- 完全人工光型植物工場と比較して大規模な工場が多く、主にトマト、パプリカ、レタス等の葉物野菜、イチゴ等の生産が行われている

<課題>

- 周年生産をする場合、オランダ等海外の植物工場と比較して、夏季の暑さ、冬季の日照量減少など気候への対応がコスト高になっている
- エネルギー代の高騰により経費が増加傾向にあるため、エネルギーマネジメント、使用エネルギーを把握し、省エネのための制御が必要
- 病害虫の混入防止による減農薬栽培
- 温度、湿度、日射量、CO2等の監視
- 生育促進性が高い栽培場所の把握
- 光合成状態を把握し、環境制御を行う
- ストレスコントロールが必要、そのためのデータベース整備が必要

以下、図表 4.10 に環境制御の課題に対応する制御装置および判断に用いる環境要素等の具体例を示す。

図表 4.10 温室（太陽光利用型含む）の統合環境制御の具体例一覧

温室(太陽光利用型を含む)の統合環境制御の具体例

難易度

易

↑

↓

難

- 1) 複数の環境要素値をもとに制御量を判断する
- 2) 1つの装置を制御する際、他の装置の作動状況を考慮する
- 3) 制御の目標値が瞬時値でなく、1日の成長を一定にするために、日平均値や日積算値を用いる
- 4) 1週間、1ヶ月の生産量を安定化させるために、制御目標値に週単位、月単位の情報を加える
- 5) その際、過去数年間の運転制御状況データや外気象データベースを用いて、高度に判断する

制御する装置	判断に用いる環境要素	太陽光利用型	
		冷涼地域	温暖地域
施設一般			
天窓 開閉	気温	△	○
側窓 開閉	気温	△	○
内部カーテン 開閉			
保温用	気温	○	△
遮光用	気温、日射	△	○
暖房 On/Off	気温、日射、湿度	○	△
冷房 On/Off			
ヒートポンプ	気温、湿度		○
気化冷房	気温、湿度、日射		○
CO2施用 On/Off	気温、日射	○	○
補光 On/Off	日射、気温	○	
養液栽培関係			
培養液 追肥、かん水	気温、日射	○	○

制御する装置	人工光型
施設一般	
暖房 On/Off	△
冷房 On/Off	○
CO2施用 On/Off	○
照明 On/Off	○
養液栽培関係	
培養液 追肥、かん水	○

(出展：農業ワーキング後藤 WG 長講演資料)

以下、図表 4.11 に植物の生育に関する課題に対応する計測項目、計測状態、また求められる非破壊・非接触技術の期待度を示す。

図表 4.11 植物の生育状況の計測

植物の生育状況の計測

分類	計測項目	測定状態		非破壊・非接触 技術UPの期待度
		破壊・接触	非破壊・非接触	
形状・形態・外観	葉構造(葉群構造)		△	○
	葉色		○	◎
	葉の表面温度		○	◎
生産力と生長解析	草丈、葉数		△	
	葉面積	○		◎
	乾物重、生体重	○		
	花の数(果菜類)			◎
	種実重量	○		
光合成・呼吸・蒸散	光合成速度		○	◎
	クロロフィル蛍光(光合成活性)		○	○
	蒸散速度		○	◎
体内状態・成分	含水量	○		
	水分ポテンシャル	○		◎
	光合成色素(クロロフィルなど)量	○		
	無機成分(Ca, Feなど)	○		○
	ビタミン・機能性成分	○		○
	糖度	○		◎

注)○:可能 △:なんとか可能 "可能"には、研究レベルで可能であるが実用レベルに達していないものを含む

(出展：農業ワーキング後藤 WG 長講演資料)

<センサシステムへの要望>

- 気候変動に伴う環境変動があっても低コストで安定生産できるセンサシステムが欲しい、センシング対象としては、屋外は日射量、気温、地温、湿度、雨量、風向風速、CO2
屋内は日射量、気温、湿度、CO2、換気量、培養液、病害虫
- 植物の生育状態、成分等がリアルタイムに非破壊で簡単に測れる安価なセンサシステムが欲しい、また、非破壊・非接触技術の向上の対象として、葉色、葉の表面温度、葉の面積、花の数(果菜類)、光合成速度、蒸散速度、水分ポテンシャル、糖度、(出来れば、)葉構造、クロロフィル蛍光、無機成分、ビタミン・機能性成分

<求められるセンサシステム像>

- 生育環境モニタリングシステム
植物周りの環境(光質、光強度、光量、温度、湿度、CO2、気流等)をモニタリングしながら高付加価値植物に適した環境に制御する耐候性、耐久性に優れたシステム
- 生育状態監視モニタリングシステム
葉色、葉の表面、温度、葉の面積、花の数(果菜類)、光合成速度、蒸散速度、水分ポテンシャル、糖度、(出来れば、)葉構造、クロロフィル蛍光、無機成分、ビタミン・機能性成分のセンシングを非破壊・非接触技術が向上され、耐候性、耐久性に優れ、ワイアレスで、群落

で診断ソフトウェアとの連携された生育環境・状態監視システム

＜実用化への課題＞

- 植物の生育環境・状態監視モニタリングシステムの開発と最適栽培データベースの構築・整備
- 生育、代謝を促進させる適度なストレス制御技術の開発を完了し、植物に与える制御された各ストレスの付与機器の調達及び製造メーカーの開拓
- 国内外マーケットへの販売を視野に入れた実用化検討
- 食品衛生法、労働基準法等のセンサシステム実用化、普及に関連する制度・規制

4.2.4. 農場

<現状>

- 季節に合わせて自然を生かす農業により年に1作が基本となり、3大栄養素（炭水化物、タンパク質、脂質）の基となる穀類、豆類、イモ類、畑作野菜等の生産が行われている。

<課題>

- 大規模農場による生産の効率化
- 気象に左右されやすい生産の安定化
- 病虫害等による農作物への影響監視
- 土壌劣化による生産性低下の回避

<センサシステムへの要望>

- 大規模農場等での農地管理・生産管理に GPS や衛星リモートセンシングを活用し、効率化を図るためのセンサシステム求められ、センシング対象は農地状況を把握するための土壌や作物状態の計測となる
- 無人コンバインの制御、モニタリングの為にセンサシステムが求められ、コンバイン稼働状況のセンシングや ICT を利活用した遠隔監視が求められる
- 土壌や温度・日射等を常時モニタリングし、センサシステムの ICT を利活用した遠隔操作・遠隔制御・自動制御、また、土壌成分の監視(土壌表面に肥料、農薬がばらつきなく散布されているか)のセンシングへの要望がある

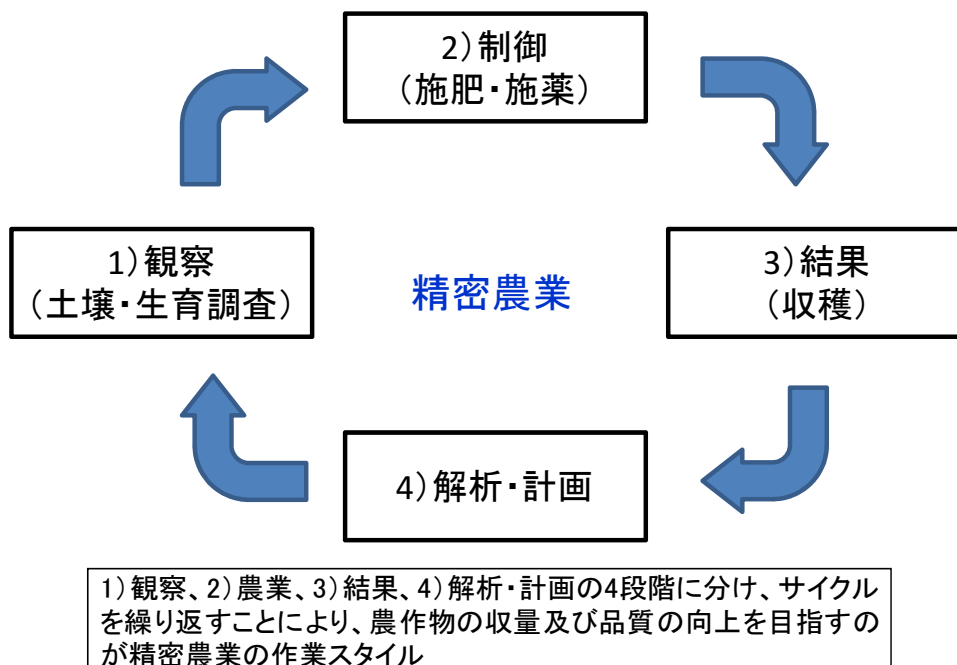
<求められるセンサシステム像>

- GPS 等を用いた効率化農地管理・生産管理モニタリング
- コンバイン稼働モニタリング
- 生育環境・状態監視モニタリング
土壌成分を精度よくセンシングし、さらに葉色、葉の表面、温度、葉の面積、花の数（穀類、豆類、芋類、果菜類）、光合成速度、蒸散速度、水分ポテンシャル、糖度、（出来れば、）葉構造、クロロフィル量、無機成分、ビタミン・機能性成分のセンシングを非破壊・非接触技術が向上され、耐候性、耐久性に優れ、ワイアレスで、群落レベルで管理ができて診断ソフトウェアとの連携された生育環境・状態監視システム

以上のセンサシステムを活用することにより、「観察（土壌、生育調査）」、「制御（施肥、施薬）」、「結果（収穫）」、「解析、計画」の作業サイクルが円滑に繰り返され、農作物の収穫及び品質向上の実現への貢献するセンサシステムが求められている。

以下、図表 4.12 にセンサシステム等の活用により露地農業における精密農業のイメージを示す。

図表 4.12 露地農業における精密農業のイメージ



(出典：農林水産省技術会議事務局 農林水産研究開発レポート No.24(2008)「日本型精密農業を目指した技術開発」を参考に作成)

<実用化への課題>

- 農作物の生育環境・状態監視モニタリングシステム等の上記システムの開発
- 国内外マーケットへの販売を視野に入れた実用化検討
- 農地法等のセンサシステム実用化、普及に関連する制度・規制

4.2.5. 畜舎

<現状>

- 繁殖牛の発情時期を農家の熟練した勘に基づいても受胎率が約 50%と低い
- 毎年の子牛（乳用牛・肉用牛）の死亡頭数は約 12,400 頭、病傷事故件数は約 18 万件と年々増加傾向にある
- 鳥インフルエンザの感染拡大の恐れ
- 現状のイムノクロマトグラフィー（簡易検査）によるウィルス検出感度は的中率が低い

<課題>

- 受胎率の向上
- 子牛の呼吸器病による死廃・病傷事故の割合が高い
- 成牛の消化器病による死廃・病傷事故の割合が高い
- 鶏舎中のウィルスの検出精度が低く、精度が高い携帯型インフルエンザセンサが無い

<センサシステムへの要望>

- 繁殖畜産の発情時期を的確に捉え、受胎率を 100%にできるセンサシステムが欲しい
- 子牛の呼吸器病、成牛の消化器病を早期に検出できるセンサシステムが欲しい、よって、センシング対象は個体のバイタルサインや各種ウィルス・各種病原菌等で、子牛への負担軽減が必要となるため非接触技術の向上が求められる
- 鶏舎内のインフルエンザ等の各種ウィルス、各種病原菌を精度より簡易に計測できるセンサシステムが欲しい、よって、センシング対象は各種ウィルス・各種病原菌（H5N1、H7N9、H2N2 などのインフルエンザ、ノロ、HBV、HCV、HIV、・・・、O-157）、温度、湿度等である

以下、図表 4.12 にセンサシステムの要望へ対応する技術の重要度（または、難易度）を温室と併せて示す。

図表 4.13 畜舎と温室の技術の重要度（または、難易度）

畜舎 vs. 温室

特徴		
小	内気温の変化	大
技術の重要度(または、難易度)		
中	換気	高
高	暖房	高
低	冷房	中
無	CO2施用	有(光合成促進)
高	水質管理	中
中	害虫の軽減	高
高	病原菌、ウィルスの除去	低
高	肥料管理	中
高	健康管理	中

（出展：農業ワーキング後藤 WG 長講演資料）

＜求められるセンサシステム像＞

- 繁殖・健全肥育モニタリングシステム
個体のバイタルサインを非接触計測により負担軽減され、各種ウィルス・各種病原菌、温度、湿度をセンシングにより、個体の生育、繁殖、健全肥育環境が管理され、耐候性、耐久性に優れ、ワイアレスで診断ソフトウェアとの連携されたシステム
- 厩舎環境モニタリングシステム
各種ウィルス・各種病原菌、温度、湿度をセンシングし厩舎の環境制御、衛生管理を行い、耐候性、耐久性に優れ、ワイアレスで診断ソフトウェアとの連携されたシステム

＜実用化への課題＞

繁殖・健全肥育モニタリングシステムにおいては、

- 国内メガファームの協力
- センサの量産や畜産仕様の製品開発の実績豊富な企業の協力
- 国内外マーケットへの販売を視野に入れた実用化検討

厩舎環境モニタリングシステムにおいては、

- 各種ウィルスの検出技術の実験、実証
- 医療関係者の協力
- 廃棄物処理法等のセンサシステム実用化、普及に関連する制度・規制

等が想定される。

4.3. センサシステムの効果、インパクト

4.3.1. 効果、インパクトの具体的項目

＜想定される社会的効用＞

- ◆ 農作物の生産性向上
- ◆ 生産管理の効率化による人件費の削減

＜想定される市場規模＞

- ◆ 農作物モニタリングシステム

4.3.2. 想定される効果、インパクト

センサシステムの活用によって、農作物の生産性向上や生産管理の効率化による人件費の削減等の社会的効果があると考えられる。さらに、センサシステムが広く普及していくと、農業の総生産額や生産農業所得額が増加していくことが予想される。

センサシステムの市場規模は、農業を一次産業として考え、国内農家数を基に見積もると市場規模は小さいが、六次産業化や海外展開も視野に入れると大きくなっていくと思われる。

また、社会的効果は、以下、図表 4.14 に示す農業分野における社会的損失におけるインパクトも重要である。

図表 4.14 農業分野における社会的損失のインパクト

分野	対象	損失原因	経済的損失の大きさ	算定条件条件	出典(参考資料)
農業(参考)	作物被害	砂漠バッタの異常発生	390 億円	・北アフリカでの被害復興の総額の見積もり ・3.9 億ドルを 100 円/ドルで換算	国連・食糧農業機関「越境性動物疾病と植物病害虫」
	家畜被害	鳥インフルエンザ	数 1000 億円	・2004 年から 2005 年にかけて流行した鳥インフルエンザによるもの ・東南アジア、アフリカ、欧州の 60 カ国以上の被害総額 ・数十億ドルを 100 円/ドルで換算	
		豚コレラ	280 億円～2300 億円	・推定被害額は、各ケースの見積もり方法等により変動 ・金額は 100 円/ドルで換算(以下同様)	独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 「進展する畜産革命越境性動物疾病の現状について」 (日本農学アカデミー会報第 12 号、2009 年 12 月発行より)
		口蹄疫	225 億円～14500 億円	・推定被害額は、各ケースの見積もり方法等により変動	
		BSE	4700 億円	・2004 年米国での 1 ケースのみ	
		ニパウイルス感染症	450 億円	・1999 年マレーシアの 1 ケースのみ	

上述の家畜を通じて拡がる各種ウィルス被害は、農業への損失のインパクトと併せて、人間の健康医療への影響においても、社会的損失におけるインパクトが大きい。

5. 社会インフラ・健康医療・農業分野の共通課題

三分野の共通課題の調査は、三分野の共通な技術課題の分析を行い、その共通技術課題ごと課題の内容分析と各分野の具体例を調査結果等から整理した。さらに、その他の共通課題としてセンシングデータを含め、様々なデータ利活用における課題を整理した。

5.1. 共通技術課題の分析

センサシステムの技術課題は、用途、目的ごと課題の対象や要求レベルによって異なるが、以下、図表 5.1 の国土交通省委員会での講演資料より、各分野で共通となる基本的なセンサシステムで必要となる技術課題をシステム構成要素ごと示す。

以下表では、「今後のセンサシステムへの要求」がセンサシステム開発側の技術課題となる。

図表 5.1 現状のセンサシステム課題における技術課題

項目	現状のセンサーシステムの課題	今後のセンサーシステムへの要求
センサ	大型、高価	小型、安価、高耐久性・高信頼性
電源	有線(設置困難、敷設コスト高い、災害時断線) 電池(寿命短い、交換大変)	自立電源(環境発電)
通信	有線(設置困難、敷設コスト高い、災害時断線)	無線、低消費電力
回路	消費電力大	低消費電力
パッケージ	設置が不自由、大型、高価	高耐久、設置が自由、小型、安価
データ処理	データ数限定	ビッグデータ処理 (多数点計測、常時計測)

(出典：国土交通省第2回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討会委員会（一財）マイクロマシンセンサー講演資料)

尚、調査では“安価なセンサシステム（センサ）”はどの分野においても共通なニーズであり、三分野とも「使用目的にあったセンサシステムの経済性」は共通課題である。

5.2. 技術課題における各分野の具体例

三分野の技術課題における具体例を、上述の課題の分析結果を参考に整理し、以下の三項目毎述べる。

- センシング対象
- 小型（利用操作性）、高耐久性・高信頼性
- 自立電源、通信（無線）、データ処理

5.2.1. センシング対象

センサには多様なセンシング対象も課題としてあげられる、本調査により得られたセンシング対象の代表例を、分野毎以下、図表 5.2 に示す。以下に示す通り、センシング対象においての共通部分は、社会インフラと農業分野の環境モニタリングにおける温湿度、健康医療と農業の家畜における生体情報等があった。

図表 5.2 分野毎のセンシング対象一覧

分野	センシング対象
社会インフラ	変位（応力・歪）、振動（加速度）、温湿度、傾斜、水位、風向風速、音波等
健康医療	血圧、脈拍、歩数、体重、血糖値、歩行距離、消費カロリー、脂肪燃焼量等
農業	湿度、気温、日射、土壌（水分含有量、塩分濃度等）、降雨、風向、風速等

5.2.2. 小型（利用操作性）、高耐久性・高信頼性

＜共通課題の補足説明＞

- 小型（利用操作性）
小型はパッケージでの「設置が自由」と関連が深く、センサシステム（センサ）の利用操作性へのニーズに含まれる。
- 高耐久性・高信頼性
高耐久性はセンサシステム（センサ）自体の設置下の環境や衝撃等に対する耐久へのニーズであり、高信頼性はセンサより得られるセンシング情報を精度や、センサシステム（センサ）の長寿命化へのニーズである。

調査結果より利用操作性、耐久性、信頼性における各分野の用途における代表的なニーズ（課題）例を以下に示す。

【社会インフラ分野】

- ✓ 橋梁、トンネル、プラント等の限られた場所へのセンサシステムの設置、取替えが容易な小型化
- ✓ 橋梁、トンネル等の過酷な環境（塩害・高温・高湿等）におけるセンサシステム（センサ）の耐久性、高耐環境性、耐衝撃性
- ✓ センサシステム（センサ）の長期のメンテナンスフリー
- ✓ プラント等での活用における高い耐熱性（250℃～300℃）、防爆（火花が散らない）性

【健康医療分野】

- ✓ 人体に設置可能な小型化
- ✓ 予防、介護共、利用者にストレス無しに設置のための非侵襲、低侵襲による利用操作性
- ✓ 予防、介護共、測定時間が短いセンサ測定能力
- ✓ 試薬の補給などが不要なメンテナンスフリー

【農業分野】

- ✓ 植物の生育状態、成分等がリアルタイムに非破壊で測れる利用操作性
- ✓ 家畜の個体のバイタルサインを非接触計測により負担軽減できる利用操作性
- ✓ 家畜や農業機械に設置可能な小型化
- ✓ 屋外に設置する場合の対候性や、過酷環境下での耐久性等

5.2.3. 自立電源、通信（無線）、データ処理

センサシステムで活用される自立電源は、センサシステムの用途、目的によって選択される事になる。以下に自立電源における環境発電の代表例、及び主な環境中のエネルギー源と取得可能な電力を図表 5.3 に示す。尚、図表 5.3 の電力は 2009 年時点での電力取得技術によるものである。

- 電磁波エネルギー・ハーベスティング
- 力学的エネルギー・ハーベスティング
 - ✓ 振動発電（圧電方式、電磁誘導方式）
 - ✓ スイッチ動作による発電
 - ✓ 荷重による発電（圧電方式）
 - ✓ 風力による発電 等
- 熱エネルギー・ハーベスティング
- バイオエネルギー・ハーベスティング
 - ✓ 血糖グルコース発電
 - ✓ 心筋細胞利用発電 等

図表 5.3 環境中の主なエネルギー源と取得可能な電力

エネルギー源		エネルギー源のパワー	「収穫」される電力
環境光	屋内	0.1 mW/cm ²	10 μW/cm ²
	屋外	100 mW/cm ²	10 mW/cm ²
振動/動作	人	0.5 m @ 1 Hz, 1 m/s ² @ 50 Hz	4 μW/cm ²
	工場	1 m @ 5 Hz, 10 m/s ² @ 1 kHz	100 μW/cm ²
熱	人	20 mW/cm ²	30 μW/cm ²
	工場	100 mW/cm ²	1-10 mW/cm ²
電磁波	携帯電話	0.3 μW/cm ²	0.1 μW/cm ²

(出展 : Vullers R.J.M., van Schaijk R., Doms I., Van Hoof C., Mertens R. "Micropower energy harvesting," Solid-State Electronics, 53 (7), pp. 684-693. (2009))

以下、図表 5.4 に環境発電デバイス例をを示す。

図表 5.4 環境発電デバイス例



（出典：国土交通省第2回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討会委員会（一財）マイクロマシンセンサ講演資料）

以下、図表 5.5 に、通信における主な無線規格を示す。

図表 5.5 無線規格一覧

項目	無線 LAN	モバイル WiMAX	Bluetooth	ZigBee	Wi-SUN
IEEE 規格	802.11a/b/g/n	802.16e	802.15.1	802.15.4	802.15.4g
周波数帯	2.4GHz, 5GHz	2.5GHz	2.4GHz	2.4GHz	920MHz
通信距離	数十～数百m	数 km～十数 km	約 1m～100m	数 m～数十 m	～500m
伝送速度	～600Mbps	～54Mbps	～1Mbps	～250kbps	～400kbps
変調方式	FHSS, DSSS, OFDM	OFDM	FHSS	DSSS	2GFSK/4GFSK
ペイロードサイズ	～64K バイト	～10260 バイト	～2745 バイト	～127 バイト	～2047 バイト
送信出力	～10mW/MHz	～400mW	～2.5mW	～1mW	～20mW
トポロジー	スター	スター	スター（～7ノード）	メッシュ（～65528）	メッシュ（～65528）
マルチホップ	可	不可	不可	～5 ポップ	～30 ホップ（実証済）
稼働時間	—	—	—	数年間（単 3 形 1 本）	10 年間（単 3 形 3 本）
モジュールサイズ	27×30(mm)	27×30(mm)	14×19(mm)	24×33(mm)	20×40(mm)

（出典：国土交通省第2回社会インフラのモニタリング技術活用推進検討会委員会（独）情報通信研究機構講演資料）

調査結果より自立電源、通信（無線）、データ処理における各分野の用途における代表的なニーズ（課題）例を以下に示す。

【社会インフラ分野】

- ✓ 橋、トンネル等において、長寿命で高効率な小型自立電源を装備しており、省電力化されているシステム
- ✓ 橋、トンネル等において、無線通信が可能でデータの高信頼性、データ送信における省電力化、長距離データ送信が可能
- ✓ 橋、トンネル等の損傷度合いの判定や健全度の判定等のデータ解析が出来る
- ✓ トンネル等において、データ管理、過去のデータとの比較等が容易
- ✓ プラントにおいて、メンテナンスの要否の判断や制御をリアルタイムに実現することによる生産性向上

【健康医療分野】

- ✓ 測定されたデータが自動的に蓄積・分析され、健康状態や予防努力を評価し、日常生活の的確なタイミングでアドバイスを行ってくれる
- ✓ 血糖値に応じて、インスリンなど投薬のアドバイスを行ってくれる
- ✓ 多数の患者を常時モニタリングし、病状が悪化する前に適切な処置を施す
- ✓ 通院困難者（お年寄り、要介護者、遠隔地等）の健康状態を常時モニタリングし、健康維持のためのアドバイスを与える

【農業分野】

- ✓ 労働状況（活動）をセンシングし労働状況を監視する
- ✓ 労働環境の厳しく、特に高齢者を対象にバイタルサインをセンシングして労働安全管理を行う
- ✓ 大規模農場等で農地・生産管理のために GPS や衛星リモートセンシング等を活用し、効率化を図る
- ✓ 無人コンバインの制御、およびコンバイン稼働状況のセンシングと ICT を利活用した遠隔監視
- ✓ 土壌や温度・日射等を常時モニタリングし、センサシステムと ICT を利活用した遠隔操作・遠隔制御・自動制御等

5.3. データ利活用における課題

センシングデータ等も含む、様々なデータの利活用におけるビジネス展開やデータ公開における課題も重要である。

以下、図表 5.6 にデータ利活用の企業競争力への影響を示す。

図表 5.6 データ利活用の企業競争力について

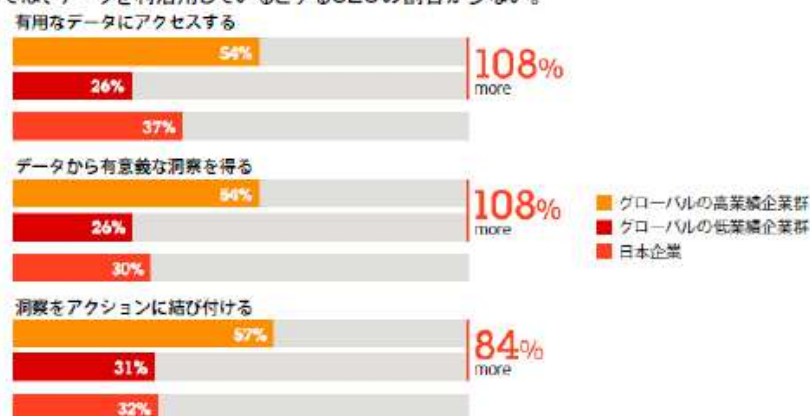
データ利活用は企業競争力に直結する



- 好業績企業のデータ利活用度は、低業績企業に比べ、2倍以上高い。更に、データを専門的に分析する意識も高い。
- 直観のみに頼らず、データに基づく経営戦略の立案、イノベーションをできるかが、企業競争力に直結する時代になっている。

(参考)IBM調査(Global Chief Executive Officer Study 2012)

- ・世界1,700人を超えるCEOと公共機関のリーダーに対し、データ利活用度に関するヒアリングを実施。
- ・一般的なレベル以上にデータ利活用している(業界平均を上回っている)とするCEOの割合は、好業績企業で2倍。
- ・日本企業においては、データを利活用しているとするCEOの割合が少ない。



(出展：経済産業省商務情報政策局情報経済課（平成 25 年 4 月）「データ利活用をめぐる現状と課題」より）

特に、ビジネス展開においては、2 章の社会インフラ分野で述べたニーズとシーズのマッチングが健康医療、農業分野においても重要であり、本調査委員会においても、ニーズとシーズのマッチングが円滑に進む事の重要性に関する指摘が多かった。

また、データ公開においては、パーソナルデータと公共データの違いによって、パーソナルデータでは個人情報の取り扱いに関する課題等、公共データではデータの公開性に関する課題等、データ利活用の用途、目的によって様々な課題がある。

以下図表 5.7 にデータ利活用における必要な施策の方向性を示す。

図表 5.7 データ利活用の必要な施策の方向性について

データ利活用の取組を広げるために必要な施策の方向性

- データ利活用によるビジネス創出を促進するためには、データ取得・流通の段階も含め、多岐に渡る課題を解決し、その事業環境を整備することが必要。
- このような事業環境整備により、我が国においてデータ利活用が進まない要因を取り除くとともに、技術開発支援も含め、政府が一体となって取り組んで行くことが必要。
- 中でも、多くの我が国企業は、パーソナルデータの利活用に躊躇しており、適切なプライバシーに配慮したデータ利活用促進のためのルール・仕組の構築は、重要な課題。

	データの取得	データの流通	データの利活用
事業環境整備	適切なプライバシー保護に配慮したデータ利活用促進のためのルール・仕組の構築		
	政府CIOに必要な権限の明確化		
	番号制度の民間事業活用		
	公共データのオープン化	データ取引の環境整備	データ互換性を向上させる仕組みの構築
	事業創出を阻害する個別規制の改革		
技術開発	センサー技術	ネットワーク技術	情報処理技術

（出展：経済産業省商務情報政策局情報経済課（平成 25 年 4 月）「データ利活用をめぐる現状と課題」より）

契約管理番号	13400377-0
--------	------------