

Ⅲ. 「管理技術部門」

Ⅲ—1. 研究実施方針

1. 研究実施方針

「管理技術部門」においては、長期利用する住宅スケルトンの構造特性を診断・把握する診断・評価手法の高度化に向けて、技術者の目視等に基づく点検・診断を代替又は補完する新たな診断技術として、情報通信技術および信号処理技術を利用したヘルスマonitoring技術に着目し、住宅の構造・規模に適したヘルスマonitoringシステム及び維持管理・流通における技術利活用に関する研究開発を行う。

① 実大建物の加振実験による構造ヘルスマonitoringの技術検証

住宅スケルトンの構造特性の変化（建物全体系・層レベル・部材レベル）について、実大建物加振実験において計測・記録されたデータを用いて、現象の把握と損傷の有無・箇所の推定に関する構造ヘルスマonitoring技術の適用性を実験検証する。

② 住宅に適したヘルスマonitoringシステムの開発

一般的な住宅への技術適用に向けて、標準的なRC造共同住宅の構造モデルを設定し、住宅の構造・規模に適したヘルスマonitoringシステムの構成と診断サービスの運用に関する技術的課題について検討する。

③ 住宅の維持管理・流通における技術の利活用手法の提案

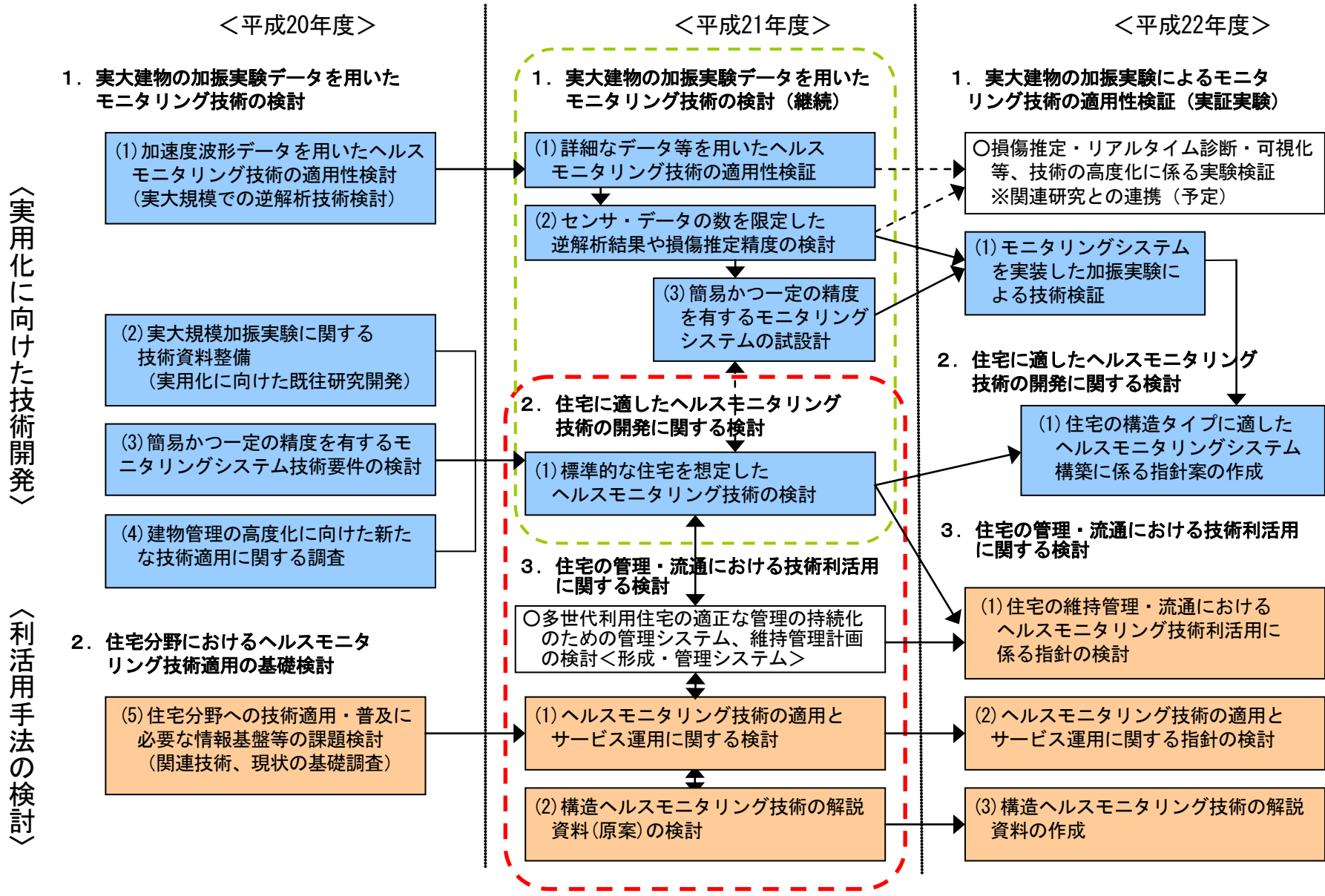
住宅スケルトンの状態把握に基づいた維持管理の実施や、住宅の流通における健全性評価・表示など、新たな診断・情報提供サービスとしてヘルスマonitoring技術を利活用する手法と社会システム構築に係る課題を検討する。

なお、本研究では、「ヘルスマonitoring技術」は、「構造ヘルスマonitoring（SHM：Structural Health Monitoring）技術」の意味で用いる。また、モニタリングの目的、対象建物の構造・規模と計測する項目に対応するようにセンサ・通信・信号処理を具体的に構成する技術システムを「モニタリングシステム」と呼ぶこととする。

2. 研究年次計画

具体の検討は、他部門の研究開発との整合を図りつつ、構造ヘルスマonitoring技術と活用・運用に係る課題に対応した検討テーマを設定して実施することとするが、予定している3カ年の研究年次計画及び研究テーマの関連は次のとおりである。

■「管理技術部門」の研究年次計画・研究テーマの関連



Ⅲ—2 平成21年度の研究概要

1. 実大建物の加振実験データを用いたヘルスマニタリング技術の検討

参照：資料2-4-1

(1) 詳細なデータ等を用いたヘルスマニタリング技術の適用性検証

実大建物加振実験において計測・記録されたデータを用いて、構造特性の変化や損傷の有無・箇所の推定に関する構造ヘルスマニタリング技術の適用性を実験検証した。今年度は、構造設計の詳細に関する情報や計測データ等が取得できるケースとして、逆解析手法（フルスペックの逆解析）の検討、診断精度の検証を行った。

(2) センサ・データの数を限定した逆解析結果や損傷推定精度等の検討

詳細な加振実験データを用いた検討を踏まえ、センサ・データの数を限定した逆解析結果や損傷推定精度等に関する検討を行った。

<加振データの逆解析の成果と課題>

- ・簡易な逆解析によるモード情報は、ARXモデルに基づく場合と、部分空間法に基づく場合との比較でもほぼ同様の推定結果が得られ、適用手法に応じた推定精度の差異は小さい。
- ・ただし、安定したモードを抽出するかにおいて、エキスパートジャッジを要する部分があり、逆解析の自動化には課題が残る。
- ・詳細な逆解析によるモード情報は、PSO法・DE法に基づく場合と、FEMモデルによる正解析に基づく場合を比較すると、ほぼ同様の推定結果が得られた。
- ・また、逆解析によって推定したパラメータを活用して、柱・主梁・スラブなどの材料特性の仮定に基づき、有限要素法による正解析モデルを構築したところ、モード特性は、設計上の解析モデルとほぼ整合した。

(3) 簡易かつ一定の精度を有するモニタリングシステムの試設計

住戸に適したヘルスマニタリングシステムを想定しつつ、状態把握の対象（建物全体系・層レベル・部材レベル）と目的（損傷の有無・箇所の推定など）に対応するヘルスマニタリングシステムを試設計した。ここで試設計したシステムを、平成22年度に実施予定の実大建物加振実験（平成20年度に行われた実験と同じ試験体を用いる加振実験）において、試験体の実装し、状態把握、診断に係る技術適用の実証実験を行う予定である。

さらに、実験検証ポイントとして考えられる7つの事項を抽出した。これらの実験テーマのうち、住宅へのヘルスマニタリング技術適用の観点と既往研究や他の実験研究等の実施状況等を考慮し、加振実験において実装するシステムを設定する予定である。

2. 住宅に適したヘルスマonitoring技術の開発に関する検討

(1) 標準的な住宅を想定したヘルスマonitoring技術の検討

参照：資料 2-4-2

1.1 サービスの項目及び水準の整理

一般的に多種類のセンサを高密度に設置するほど、SHM システムによるユーザーへの情報提供の品質は向上するが、現実的な普及を想定した場合、オーナー等のニーズ、住宅の規模やコストに応じて、適切なサービス水準を組み合わせたパッケージを準備する必要がある。

実験研究によるヘルスマonitoring技術の適用性検討を踏まえ、建物管理においてSHMシステムが提供できるサービスの項目及び水準の整理を行った。サービスの項目として、A 推定の対象レベル、B 入力データ、C 診断方法、D 診断情報の提供、E 診断結果の管理の5項目を抽出し、それぞれの項目について、診断・情報提供の品質に相当する3段階のサービス水準を設定し、住宅性能表示の枠組みに準えたサービス項目と水準の枠組みを整理した。

表-1 SHM サービスの項目・水準

サービスの項目	概要	サービスの水準
A 推定の対象レベル	構造物の損傷や経年変化について推定を行う対象。	<input type="radio"/> 部材 <input type="radio"/> 層 <input type="radio"/> 構造物全体
B 入力データ	構造特性の逆解析に用いる入力データの種類の。	<input type="radio"/> 地震動 <input type="radio"/> 常時微動 <input type="radio"/> 強制加振や自由振動
C 診断方法	構造特性の逆解析結果を“解釈”するために必要な診断の考え方(技術的な逆解析手法とは異なる)。	<input type="radio"/> 自己評価 <input type="radio"/> 相対評価 <input type="radio"/> 設計モデル
D 診断情報の提供	診断結果をユーザーに情報提供するタイミングや頻度。	<input type="radio"/> 適宜 <input type="radio"/> 定期 <input type="radio"/> 一時
E 診断結果の管理	診断結果を構造物の履歴情報として管理する方針や方法。	<input type="radio"/> オンライン <input type="radio"/> オフライン <input type="radio"/> 管理対象外

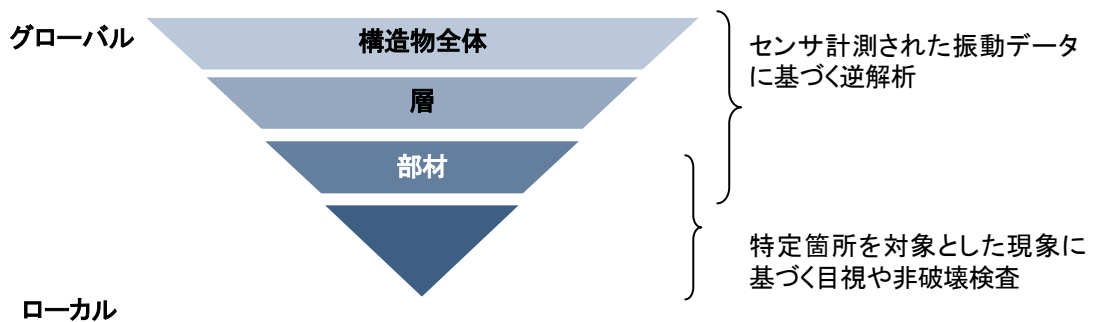


図-1 推定の対象レベル

1.2 サービス水準の組合せ (SHM パッケージの検討)

SHM のサービスは、前節で整理した SHM のサービス水準の組み合わせによって特徴付けられる。組み合わせの考え方は多岐にわたるが、建物管理における技術利用の観点から、実現性が高くかつ代表的と考えられる SHM パッケージの検討を行った。

ユーザーにとっての関心は、導入に伴うコストや、いつどのようなメリットが得られるかと考えられ、5つのサービス項目に照らすと「A 推定の対象レベル」「D 診断情報の提供」へのニーズと捕らえることができる。この2項目、それぞれ3段階のサービス水準の組合せについて、SHM パッケージの検討用マトリクスを作成し、技術的な面とコスト面の双方から診断・情報提供サービスとしての成立可能性を検討しながら、SHMパッケージ例を設定した。

代表例として設定した、通称「松」「竹」「梅」のSHMパッケージについて、提供されるサービス、システム構成、運用・情報提供のイメージを整理し、それぞれの特徴と課題を整理した。

		D 診断情報の提供		
		情報提供の品質:高 ←		→ 情報提供の品質:低
		(等級3) 適宜	(等級2) 定期	(等級1) 一時
A 推定の対象レベル	センサ数:多	(等級3) 部材 Sランクのパッケージ「特松」 技術的には実現可能だがコスト面で釣合わない → 現実性を踏まえて松竹梅のパッケージを設定。 ※1	コスト次第で実現可能性あり	技術的に困難
	センサ数:中	(等級2) 層 ※2 Aランクのパッケージ「松」 常設センサのデータに基づく 損傷・経年変化の診断	Bランクのパッケージ「竹」 前回測定結果との比較による 経年変化の定期診断	コスト次第で実現可能性あり
	センサ数:少	(等級1) 全体	(常時微動で自己評価)	Cランクのパッケージ「梅」 類似構造物群のデータベース等に基づく一時診断 (常時微動で相対評価)

平成21年度に実施するE-defense実験データについて、
※1:「フルスベック逆解析」、※2:「簡易な逆解析」を通じて実証を試みる。

図-2 SHM パッケージの検討用マトリクス

表-1 SHM パッケージの代表例

パッケージ		概要
S ランク 「特松」	常設センサのデータに基づく 損傷・経年変化の高度診断	SHM の適用によって見込まれる最高品質のサービス
A ランク 「松」	常設センサのデータに基づく 損傷・経年変化の診断	地震時のデータに基づき構造特性の変化を連続的に捉え るとともに、常時微動データを活用した評価も可能
B ランク 「竹」	前回測定結果との比較による 経年変化の定期診断	常時微動データに基づき構造特性の変化を自己評価
C ランク 「梅」	類似構造物群のデータベース等 に基づく一時診断	常時微動データの一次的な計測により、構造特性を相対評 価する

1.3 標準的な住宅を想定した SHM 技術の検討

サービス水準と SHM パッケージについて、標準的な RC 共同住宅や木造住宅を想定した場合のケーススタディを行い、必要なセンサの種類・数・設置箇所に係る考え方を整理した。

中層RC造住宅向け「竹」パッケージの検討では、加振実験データを用いた技術検討の際、ランダム加振時のデータ逆解析において困難であった点を踏まえて、常時微動データから評価を行う上での留意点を整理し、対応するセンサ配置計画を得た。

また、戸建て木造住宅向け「竹」パッケージの検討では、木造住宅の場合は、計測データから構造特性を高精度で推定することが困難であるため「全体」レベルの推定に限定することが現実的と考察され、ガス設備や温度・湿度センサなど、他目的のモニタリングとの連携の必要性が確認された。

3. 住宅の管理・流通におけるヘルスマニタリング技術利活用に関する検討

(1) ヘルスマニタリング技術の適用とサービス運用に関する検討

参照：資料 2-4-3

1.1 SHM に関する現状調査

住宅スケルトンの状態把握に基づいた維持管理の実施や、住宅の流通における健全性評価・表示など、新たな診断・情報提供サービスとしてヘルスマニタリング技術を利用する手法と社会システム構築に係る課題を整理・検討を行った。

SHMの適用・サービス運用に関わると考えられるステークホルダーへのヒアリングを通じて、SHMに関する現状の取り組み状況や課題意識について把握した。一部のゼネコンが提供しているSHMサービスの普及は進んでいない。「設計・施工」「オーナー」という2者の関係にとどまっております、エンドユーザーや情報サービス機関を含めて技術のメリットを広く社会的に享受する仕組みが存在しないのが現状である。ヒアリングを通じて、技術的な信頼性に対してお墨付きを求める意見、センサ設置の義務付けに関する制度化の要望、既存の耐震性能評価等の枠組みに対してどのような形で寄与するのかという質問などが寄せられた。

1.2 建物ライフサイクルにおける SHM 導入場面

住宅のライフサイクル及び住宅に関わる関係主体（ステークホルダー）を整理した上で、SHM 導入場面を想定し、診断・情報提供サービスである SHM に対するそれぞれの主体のニーズ、期待される内容、効果と課題の抽出を行った。

1.3 SHM の適用・サービス運用に向けた課題の整理

SHM の適用・サービスの運用に向けた検討では、ステークホルダーが考える SHM の価値を整理する。続いて、SHM の価値の実現に向けた技術的課題及び社会的課題を整理する。技術的課題では、SHM 導入における費用的課題、既存技術との対応を整理した。

(2) 構造ヘルスマニタリング技術の解説資料（原案）の検討

建物管理への技術普及に向けて、構造の専門家以外に対して技術をわかりやすく伝える解説資料（パンフレット）の作成に向けて、解説資料の構成案の検討、及び関連技術用語に関する解説文案の作成を行った。

Ⅲ—3 平成22年度の研究計画 及び成果取りまとめ

1. 実大建物の加振実験データを用いたヘルスマニタリング技術の検討

○モニタリングシステムを実装した加振実験による技術検証

実大建物の加振実験において技術の有効性を示すことを目的として、住戸に適したヘルスマニタリングシステムとして試設計したシステムを、平成22年度に実施予定の実大建物加振実験（平成20年度に行われた実験と同じ試験体を用いる加振実験）において、試験体を実装し、状態把握、診断に係る技術適用の実証実験を行う。

2. 住宅に適したヘルスマニタリング技術の開発に関する検討

○住宅の構造タイプに適したヘルスマニタリングシステム構築に係る指針案の作成

住宅の構造タイプ、SHMシステムのサービス項目・水準に合致したSHM技術に関して、扱うデータ、センサ、入力条件、解析手法等の機能要件と対応技術システムを整理し、指針案にとりまとめる。

3. 住宅の管理・流通における技術利活用に関する検討

○住宅の管理・流通におけるヘルスマニタリング利活用技術に係る指針の検討

住宅の管理・流通におけるスケルトン（主にRC造共同住宅）の健全性に係る診断・情報提供システムとしてヘルスマニタリング技術の利活用に向けて、住宅の長期利用計画、維持管理計画、住宅履歴情報等との連携方策を整理し、成果の取りまとめを行う。

○ヘルスマニタリング技術の適用とサービス運用に関する指針の検討

ヘルスマニタリングシステムに係る主体とデータの管理・流通のセキュリティ確保など、サービス運用に係る社会システム構築に関する課題と対応を整理し、成果の取りまとめを行う。とりまとめる。

○構造ヘルスマニタリング技術の解説資料の作成

建物管理への技術普及に向けて、構造の専門家以外に対して技術をわかりやすく伝える解説資料（パンフレット）の作成を行う。

Ⅲ—4 平成21年度の研究実施体制

■管理技術WG

：SHM技術の住宅（建物管理）における利活用の観点から検討する。

1. 外部委員

主査	三田 彰	慶應義塾大学 理工学部システムデザイン工学科 教授
委員	濱本 卓司	東京都市大学工学部建築学科 教授
	小松 幸夫	早稲田大学理工学術院 教授
	齊藤 広子	明海大学不動産学部 教授
	薛 松濤	近畿大学理工学部建築学科 准教授
	梶原 浩一	(独) 防災科学技術研究所プロジェクトディレクター
	有川 智	(独) 建築研究所 住宅・都市研究グループ 上席研究員
	森田 高一	(独) 建築研究所 構造研究グループ 主任研究員

<SHM技術検討SWG>：SHM技術について構造工学の見地から検討する。

薛 松濤	近畿大学理工学部建築学科 准教授
梶原 浩一	(独) 防災科学技術研究所 プロジェクトディレクター
有川 智	(独) 建築研究所 住宅・都市研究グループ 上席研究員
森田 高一	(独) 建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
佐藤 栄児	(独) 防災科学技術研究所 研究員

2. 国土交通省

住宅局住宅生産課

3. 研究担当者

高橋 暁 国土技術政策総合研究所 住宅研究部住宅瑕疵研究官

4. コンサルタント・事務局

(株) 三菱総合研究所

■WG開催

- 第1回 平成21年 9月18日 (金)
- 第2回 平成21年12月18日 (金)
- 第3回 平成22年 2月18日 (木) 10:00～12:30

管理技術全体における SHM の位置づけ

1. 住宅の管理／マネジメント

住宅・建築の管理は、いわゆるハードの管理（建物管理）とソフトの管理（運営管理、生活管理）に分けられる。ここでは、ハードの管理を対象として、長期に渡る建物の使用（長寿命化）を進める観点から、長期に使用するスケルトン（構造・設備）の使用期間における点検・診断、データ・情報の保管・提供を支援する技術・サービスの高度化について検討する。

2. 管理技術

建物の構造・設備については、定期的な点検・診断、地震時等の臨時点検、一定期間経過時の劣化診断等の手法、診断技術が開発・整備されている。また、エレベータ、防犯などの設備では、日常的な監視システムが稼働している。ここでは、これら既存の技術・サービスの存在を前提にしつつ、建物の長寿命化にあたり社会的な資産として特に重要となる構造安全性について、効率的かつ合理的に診断し、構造の健全性に関する情報提供を高度化する技術として構造ヘルスマニタリング（SHM：Structural Health Monitoring）を扱う。

なお、SHM 技術の実用化に関しては、建物管理に係る既存の診断手法、サービス等と連携した支援システム構築の観点から検討する。

<参考>

マンション管理の三つの側面

（1）維持管理（メンテナンス）の側面

空間のメンテナンス：日常的な清掃、設備の点検、修繕などの維持管理

（2）生活管理（コミュニティライフ）の側面

ライフコントロールとコミュニティ・ディベロップメント：
共同生活に関わる問題、渉外業務、安全・防災に関する業務

（3）運営管理（マネジメント）の側面

組織の運営と共用施設の運営：
建物のメンテナンス、共同生活のルール、資金管理など組織運営

（出典：齊藤広子著「ステップで学ぶマンション管理」2003.5 彰国社）