

委員会報告 コンクリート構造物のアセットマネジメント研究委員会

宮川 豊章^{*1}・保田 敬一^{*2}・岩城 一郎^{*3}・中川 将秀^{*4}・服部 篤史^{*5}・岸 利治^{*6}

要旨：現在，構造物の設計から維持管理にわたる戦略的マネジメントの構築が要請されており，その手法として経営工学の分野で用いられるアセットマネジメント（以下，AM）の適用に関して検討を行った。本委員会では，AMの基本概念について，社会情勢，定義，利点・問題点，数学モデル，各業界の関わり方等についてまとめ，またAMのためのメンテナンス技術の位置づけを示した。さらに，各団体のAMへの取り組み事例を紹介するとともに，ケーススタディを行った。

キーワード：アセットマネジメント，メンテナンス，シナリオ，アカウントビリティ

1. はじめに

我が国では，今後膨大な数の構造物の材齢が50～60年を迎え，維持管理時代となり，集中的に莫大な維持管理費用が必要となる。少子高齢化に伴う成熟社会下での厳しい財政運営を迫られ，我が国の社会資本整備のあり方そのものを問う時代とも言える。これに対し，構造物の設計から維持管理にわたる戦略的マネジメントの構築が要請されており，その手法として経営工学の分野で用いられるAMの適用に関して検討を行った。構造物のシナリオにおける「ハード」から「ソフト」への展開は，構造物を利用する国民に対して，説明責任や透明性を明確にすることにつながる。この中で，コンクリート技術者の役割はきわめて重要である。

の3WGで検討を進め，報告書およびその要点をコンクリート技術者に分かりやすく取りまとめる目的で小冊子を作成することとした。

具体的には，AMの基本概念について，社会情勢，定義，利点・問題点，数学モデル，各業界の関わり方等についてまとめ，また，AMのためのメンテナンス技術の位置づけを示した。さらに，各団体のAMへの取り組み事例を紹介するとともに，ケーススタディを行った。

2. 委員会活動の概要

委員構成を表—2.1に示す。活動期間は2004年6月～2006年3月の2年間であり，マネジメントWG（主査：大津宏康），メンテナンスWG（主査：森川英典），事例WG（主査：横田 弘）

表—2.1 委員構成

委員長	宮川豊章（京都大学大学院）
幹事	服部篤史（京都大学大学院）， 岸 利治（東京大学）
委員	稲葉尚文（中日本高速道路），岩城一郎（日本大学），上田孝行（東京大学），牛島 栄（ティーネットジャパン），大津宏康（京都大学），古賀裕久（土木研究所），高木千太郎（東京都），田底成智（中央復建コンサルタンツ），恒川雅至（日本不動産研究所），中川将秀（東洋建設），中村孝明（篠塚研究所），永山 勝・木村芳幹（日本建築総合試験所），仁平達也（鉄道総合技術研究所），野口貴文（東京大学大学院），久田 真（東北大学大学院），福手 勤（東洋大学），宮本文穂（山口大学），森川英典（神戸大学），森崎 静一（オリエンタルコンサルタンツ），保田敬一（ニュージェック），矢吹信喜（室蘭工業大学），横田 弘（港湾空港技術研究所）
事務局	大野一昭（日本コンクリート工学協会）

*1 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 教授 工博（正会員）

*2 (株)ニュージェック 東京本社 道路グループ 橋梁チーム マネジャー 博士(工学)

*3 日本大学 工学部土木工学科 助教授 博士(工学)（正会員）

*4 東洋建設(株) 技術本部 美浦研究所 構造研究室 工修（正会員）

*5 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 助教授 博士(工学)（正会員）

*6 東京大学 生産技術研究所 物質・生命大部門 助教授 博士(工学)（正会員）

3. AM の基本概念

3.1 AM に関わる社会情勢

我が国では、これまで社会資本ストックの整備に重点をおいてきた結果、膨大なストックを保有するに至った。しかし、高度経済成長期から少子高齢化社会への移行、あるいは税収の伸び悩み、財政状況の悪化など、急激な社会情勢の変化は我々の生活に多大な影響を与えている。今後、その対応が急務であり、コスト意識を持った施設管理と経営理念の導入（現状の正確な把握、確実な劣化予測、長寿命化対策、更新ピークの平準化など）が不可欠である。このような多くの課題を効果的、かつ効率的に解決するためにも、海外で実績のある AM の導入が期待される。

3.2 AM の定義

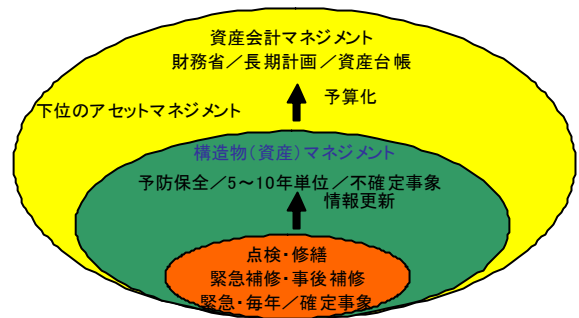
社会基盤構造物の維持・補修・更新という問題は、従来から防災という観点から検討されてきた。この防災という観点からの議論は今後とも不可欠であるが、成熟型社会における構造物の維持・補修・更新の最適化という問題に対処するためには、その資産の評価・管理という概念を導入することが必要になる。

社会基盤構造物の AM とは、図—3.1 に示すように(1) 点検・修繕、(2) 構造物（資産）マネジメント、(3) 資産会計マネジメントの3レベルで構成される。この3レベルのうち、構造物の保全に関わるものは(1) 点検・修繕と(2) 構造物（資産）マネジメントであるが、図—3.1 に示すように、(2) 構造物（資産）マネジメントは(1) 点検・修繕を包含するより上位の項目と位置づけられる。さらに、図—3.1 に示す各マネジメントは、図—3.2 に示すようなデータベースに立脚したシステムになるであろう。

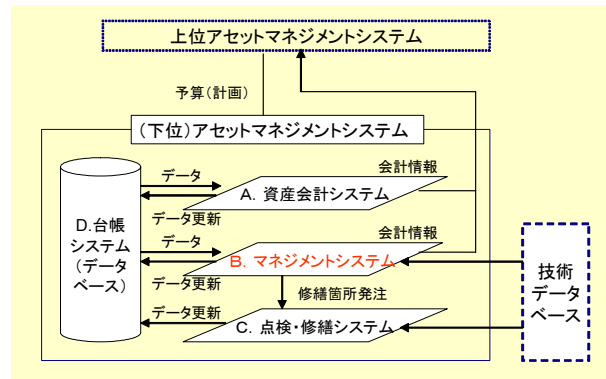
3.3 AM の利点・問題点

AM の利点としては、(a) 必要事業費確保（予算要求等）のしやすさの向上、(b) 資産状態の改善、(c) LCC 低減化などによる公的資金の有効活用、(d) アカウンタビリティの向上が挙げられる。一方、問題点としては、(a) 予想外の高齢化施設

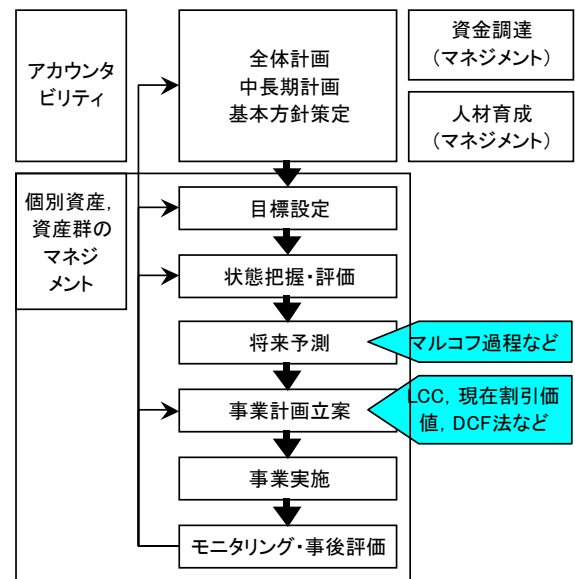
上位のASETマネジメント



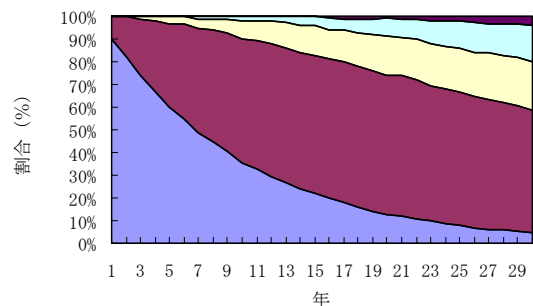
図—3.1 AM の基本概念



図—3.2 AM とデータベース



図—3.3 AM の全体構成



図—3.4 マルコフ過程を用いた劣化予測の例

の増大, (b) 維持管理予算の確保が困難, (c) 計画的な維持管理の考え方が未導入, (d) データの不足, (e) 実施体制の問題, (f) 不確実性下における意志決定問題をどう取り扱うかなどが挙げられる。

3.4 AMにおける数学モデル

AMにおける意志決定問題(劣化予測, 投資判断など)は, ほとんどが不確実性下にある。そのために, 確率統計論をベースにした確率的数理モデルが必要となる。表—3.1 にリスク事象と用いられる確率過程, 確率分布, モデルを示す。また, 表—3.2 に意志決定のための数学モデルの概要を示す。図—3.3 にAMの全体構成を示すが, 将来予測にマルコフ過程を, 事業計画立案などにLCC, 現在割引価値, DCF法などのモデルが用いられ, 意志決定されていることが多い。図—3.4にはマルコフ過程を用いた劣化予測の例を示す。

3.5 AMを取り巻く業界の関わり方

(1) 発注者: AMに対して全体管理・統括・方向付けを行う立場にある。今後, 積極的で先導的, 継続的な取り組みをすることが望まれるとともに, 役割分担や責任の所在を明確にしていく必要がある。

(2) コンサルタント: 官側の計画策定, 方針策定, 現状把握, 将来予測など, 主に個別資産のマネジメント構築の補助を行っている。今後も行政のパートナーとして補助, 作業委託などを行っていく立場にあると考えられる。

(3) ゼネコン: 主に更新, 建設, 大規模維持管理など工事に関わる事業実施を行う立場にある。今後, LCC向上, 長寿命化工法の開発, 維持管理費低減への技術開発などを行っていくことが望まれる。

(4) 大学, 研究機関, 学協会など: 大学, 研究機関や学協会は, AMに対して官のアドバイザ的役割をになう立場にある。今後, AMの各要素技術に対しての技術開発や研究を継続して行っていくことが望まれる。

表—3.1 リスク事象と用いられる確率過程

リスク事象	確率過程	主な確率分布やモデル
地震	ポアソン過程	ポアソン分布, 指数分布
	長周期の再起過程	BPT分布, 対数正規分布, ワイブル分布
豪雨・風水害	ポアソン過程	ポアソン分布, 指数分布
火災・爆発	ポアソン過程	ポアソン分布, 指数分布
機器故障	ポアソン過程	指数分布 (指数ハザードモデル)
	非定常ポアソン過程	時依存の指数分布
老朽化・劣化	マルコフ過程	マルコフ連鎖, 推移確率
		2項過程, ランダムウォークモデル, ブラウン運動, 出生死滅過程
便益・収益等の変動性	マルコフ過程	2項過程, ランダムウォークモデル, ブラウン運動, 出生死滅過程

表—3.2 意思決定のための数学モデル

LCC	リスクは考慮しているが確定的, 将来推計の不確実性は考慮されていない。	
現在割引価値	LCCでは割引現在価値を取り入れて評価している。	
DCF法	LCCは支出に着目しているが, DCF法ではLCCに収入や実利を考慮する。	
投資判断	民間資本	投資判断指標: 純現在価値, 内部収益率
	社会資本	費用便益分析: 費用便益比, 純便益, 経済的内部収益率

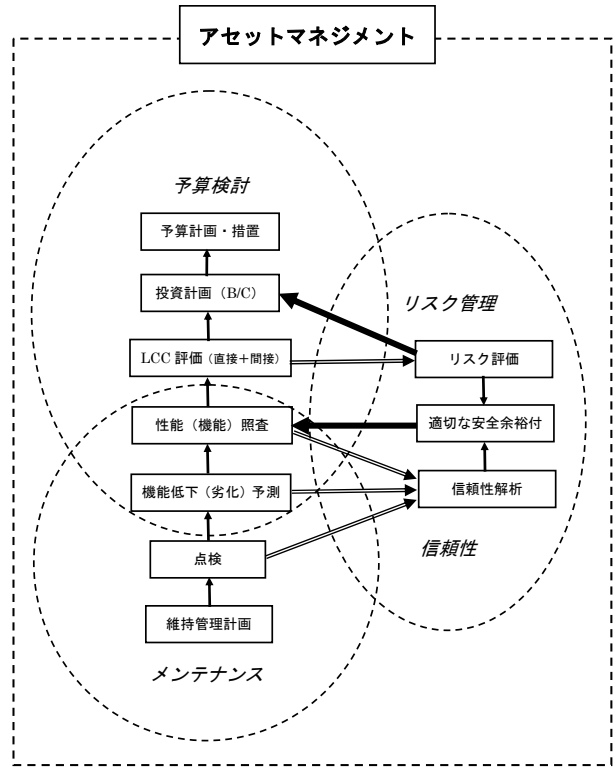
4. AMのためのメンテナンス技術

ここでは, まずAMにおける維持管理の概念とメンテナンス技術との関係を整理する。次いで, メンテナンスの要素技術について, 国内外の先端の事例を取り上げ, これらとマネジメントとの関係を検討する。すなわち, マネジメントのためのメンテナンス技術として, 劣化予測手法, 点検手法(モニタリング含む), 性能評価・判定法, 補修・補強についてまとめた後, 維持管理のシナリオ策定法の基本として, LCC, LCCO₂, 資産評価, 文化的価値の評価について示し, 最後に維持管理のシステム化の基本となるデータベース, 情報開示, ブリッジマネジメントシステム, 知能情報技術について整理する。以下では, 様々な角度から見たメンテナンスと

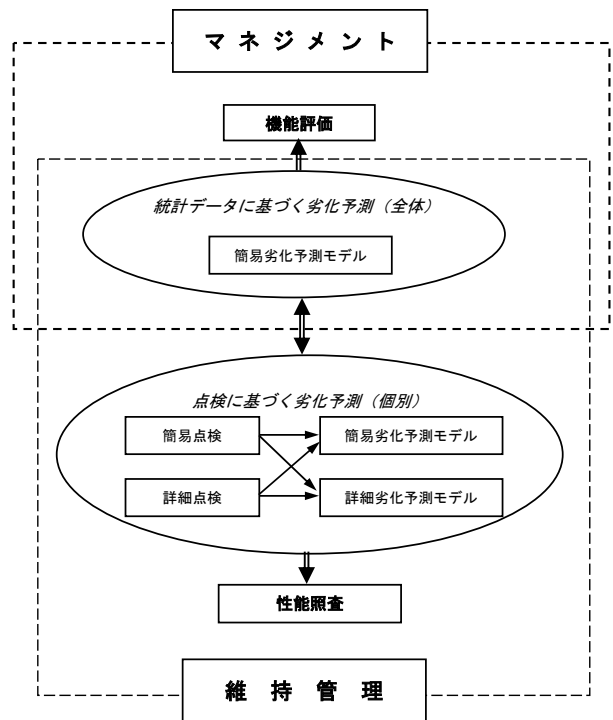
マネジメントとの関係を中心に論述する。

図—4.1 は、維持管理とマネジメントとの関係の概念図である。AM は予算検討、メンテナンス、信頼性・リスク管理の3つの大枠から構成され、メンテナンスにより得られた結果（データ）を信頼性解析・リスク評価を経ながら予算検討に結びつけていくものと考えられる。すなわち、メンテナンスは、維持管理計画、点検、機能低下（劣化）予測、性能（機能）照査、（LCC 評価）といった個別の要素技術より構成され、個々の段階で、信頼性解析、リスク評価を行い、適切な安全余裕を付与することにより、最適な投資計画、予算計画・措置が実現するものと思われる。これらメンテナンスの要素技術の具体的な内容とマネジメントとの関係については報告書を参照されたい。

図—4.2 は維持管理とマネジメントとの関係における劣化予測、評価・判定に関する概念図である。AM の要諦は、個別の構造物、あるいは構造物群（全体）の劣化予測に基づく、これら資産に対する適切な予算措置にあり、劣化予測の手法およびその精度がマネジメントのレベル、ひいては維持管理計画の具体性を左右するカギとなる。図—4.2 より、劣化予測手法は統計データに基づく劣化予測（全体）と点検に基づく劣化予測（個別）に大別されると考えられる。ここで、統計データに基づく劣化予測は前述のマルコフ過程をはじめとする数理モデルによるものであり、点検に基づく劣化予測は、劣化機構に基づく理論式によるものと換言することができる。このうち、数理モデルによる劣化予測は、類似の条件に属する多数の構造物の点検データに基づく離散的（グレーディング的）評価であり、構造物群としての資産減少予測や予算計画に適していると考えられる。一方、理論式による劣化予測は定量的評価であり、個別構造物の性能評価に適していると考えられる。現状の AM では、これら劣化予測手法のどちらかを用いて、予算計画と構造物の性能評価の両方に適用している例がほとんどであり、今後両者の利点を活



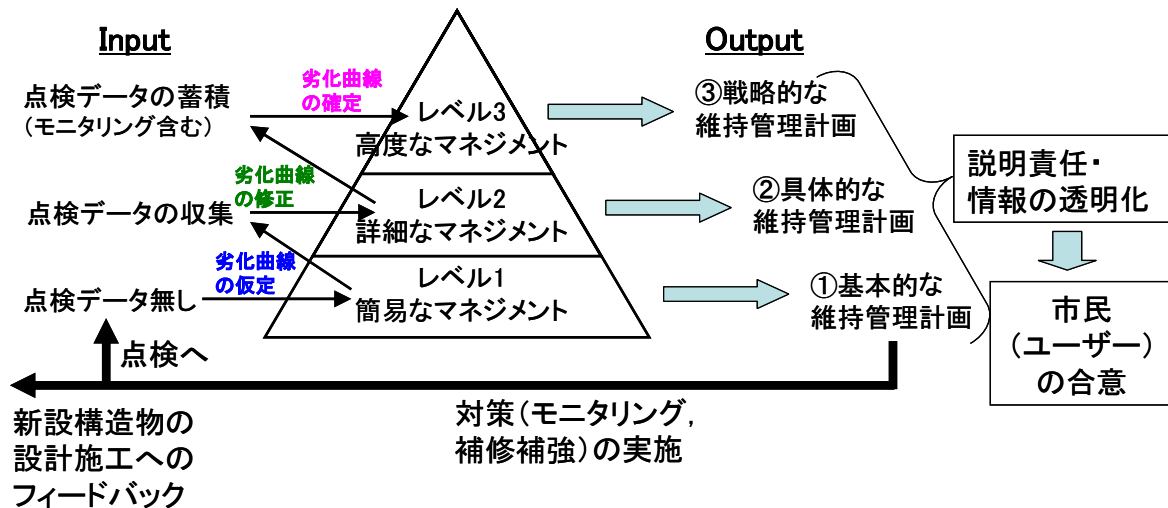
図—4.1 維持管理とマネジメントとの関係



図—4.2 維持管理とマネジメントとの関係における劣化予測、評価・判定

かした使い分けも必要になるとと思われる。

図—4.3 は点検に基づく劣化予測のレベルに応じたマネジメントの概念を示したものである。



図—4.3 点検に基づく劣化予測のレベルに応じたマネジメントの概念

すなわち、点検や劣化予測のレベルや精度に応じてマネジメントの質が向上し、その結果、合理的な維持管理計画の策定が可能となり、市民（ユーザー）の合意形成が得られやすいとの枠組みを示している。図—4.3より、点検データが無くても、理論式を用いることによりラフであっても劣化予測を行い、結果に応じた維持管理計画を立てることが重要であり、根拠に基づかない場当たり的な維持管理計画は避けるべきである。点検データの質と量が備わってくれば、精度の高い劣化予測が可能となり、その結果、高度なマネジメント、戦略的な維持管理計画の策定が可能になると考えられる。これからAMを目指す自治体、あるいは技術者はどのようなInput（点検データ）があるか、その結果、どのようなOutput（維持管理計画）が期待できるか、あるいは、どのようなOutputを求めたいか、その結果、どのようなInputが必要かを具体的に検討する必要がある。また、マネジメントによって得られた結果を市民（ユーザー）への説明、既設構造物の対策に適用するだけでなく、新設構造物の設計施工にもフィードバックすることが重要と思われる。

5. AMへの取り組みの現状とケーススタディ

5.1 AMへの取り組み事例

ここでは、まずAMに関連した国内外の取り

表—5.1 取り組み事例におけるキーワード

青森県	橋梁	維持更新コストの最小化・平準化、橋梁健全度、重要度評価、7つの維持管理シナリオ、支援システム、マニュアル、人材・組織
山口県	道路	道路管理瑕疵件数の増加（利用者の意識変化）、説明責任、維持管理コストの縮減、機能保持、住民等の主体的な参画、支援システム（データベース）
民間	高速道路	総合保全マネジメント、支援システム（RIMS・ARM ³ ・BMS）
	港湾	事後保全から予防保全へ転換、マニュアル（体系的な点検と維持管理）、支援システム、地震リスクや環境影響を考慮した研究報告、NPMに向けた研究会
海外	道路・建築	欧州での研究プロジェクト（Rehabcon マニュアル・QUADRO・UK ECOPOINT）、補修指標、損失査定、環境負荷指標

組み事例について委員が入手し得る範囲で情報収集し、自治体、民間管理者、受注者などの立場および橋梁、道路、港湾、建築などのマネジメント対象となるコンクリート構造物ごとに取りまとめる。表—5.1に取り組み事例のキーワードの一例を、表—5.2に取り組み事例における要素技術などの一例を示す。




マネジメントの流れを規定するマニュアルの整備、合理的な管理を支援するシステムの構築、継続的なエンジニアの育成が重要項目と考えられているようである。また、劣化予測は理論式が用いられることが一般的に多く、LCCによる意思決定の事例は多いが、その他の指標による

表—5.2 取り組み事例における要素技術など

取り組み内容		マネジメントの流れ												
		組織体制と人材育成	優先度設定と予算平準化	意思決定					対策 (モニタリング・補修補強)	評価・判定	劣化予測		データベース	点検
				投資判断	DCF法	LC CO ₂	現在割引価値	LC G			マルコフ過程	理論式		
青森県	橋梁	○	△	○				○	○	○		△		△
山口県	道路	△	○	△				△	○	○		○	○	○
民間	高速道路		△	△				△	△	△		○	○	○
	港湾	○	△				△	△		○	△	△	△	○
海外	道路・建築			○			○	○		○				

○：概要，△：キーワード・参考文献・課題

表—5.3 ケーススタディで設定したモデル橋梁の概要

モデル (橋種)	A 橋 (PC 橋)	B 橋 (PC 橋)	C 橋 (鋼橋)
全景写真			
主な劣化機構	塩害 (飛来塩分)	塩害 (飛来塩分)	RC 床版 (疲労)
供用年数	22 年	5 年	22 年
劣化グレード	III	II	III

意思決定の方法は様々考えられているものの、現状での事例はそれほど多くないようである。

5.2 ケーススタディ

次に、実践的なマネジメント手法を紹介するため、モデル橋梁 3 橋を設定し、高速道路の橋梁マネジメントシステムを用いて今後 45 年間の合理的な補修計画を選定するケーススタディを実施した。設定したモデル橋梁の概要を表—5.3 に示す。ケーススタディの手順は以下の通りである。

- (1) 各橋梁の諸元，点検結果などの情報を入力
- (2) 諸元に基づき理論式を用いて，各種劣化要因（中性化・塩害・疲労）に準じた劣化予測
- (3) 点検結果に基づき劣化曲線を修正
＜個別の橋梁ごとに＞
- (4) 方針（目標の劣化グレード以内に抑える補修工法と対策年）を設定
- (5) LCC が最小となる方針を選定
＜全橋梁を対象に＞
- (6) 対策年の延期に伴うコスト増に基づき優先

順位を決定

この検討により，合理的な補修計画を選定するためには LCC 最小および優先順位を定量的に比較検討することが重要であり，それによりアカウンタビリティが果たせるものと考えられる。

6. おわりに

社会基盤施設のメンテナンス技術は日進月歩ではあるが，課題も山積しており，劣化予測精度の向上や補修・補強技術の発達が AM を支える。これこそがコンクリート技術者の使命であり，メンテナンスとマネジメントの関係が強化されてこそ，持続可能な社会基盤施設の整備が実現するものと思われる。

なお，本稿に関する具体的な内容については現在取りまとめ中の報告書を参照されたい。

末筆となりましたが，本委員会の活動に献身的にご尽力いただきました委員各位に厚く御礼申し上げます。