

# 博士學位論文

内容の要旨  
および  
審査結果の要旨

第 6 編

平成 15 年度

高知工科大学

## はしがき

本編は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条による公表を目的として、平成15年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文要旨の内容および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第4条第1項（いわゆる課程博士）によるものであることを示す。

（平成15年11月発行）

## < 目 次 >

甲第 20 号	瀧澤 稔	マイクロゲルを用いた荷電モザイク膜の調製・・・・・・・・・・ 1 <b>Preparation of charge mosaic membrane by using microgels</b>
甲第 21 号	杉戸 善文	大型荷電モザイク膜の作製と実用化・・・・・・・・・・ 6 <b>Fabrication of Novel Charge Mosaic Membrane with a large area and their Practical Use</b>
甲第 22 号	Harsono Hadi	<b>Photovoltaic Water Pump System</b> ・・・・・・・・・・ 11 (太陽光発電による揚水システム)
甲第 23 号	渡邊 伸和	耐荷メカニズムに基づいた LNG 地下タンクの設計合理化・・・・・・・・ 15 <b>A Rationalized Design of LNG In-ground Tanks Based on Load Carrying Mechanisms</b>
甲第 24 号	中野 正文	厳しい立地環境に建設する LNG 貯層の開発・・・・・・・・・・ 20 <b>Development of LNG storage tanks built in severe environmental constraint</b>
甲第 25 号	大東 将啓	第二創業としての新市場進出とそのリスク・マネジメント・・・・・・・・ 25 中国における「Image Golf School」の展開 <b>Marketing and risk management for second-foundation - Study for introduction of the Image Golf School in China -</b>

	たきざわ みのる
氏 名 (本籍)	瀧澤 稔 (長野県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第20号
学位授与年月日	平成15年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻名	工学研究科・基盤工学専攻
学位論文題目	マイクロゲルを用いた荷電モザイク膜の調製 Preparation of charge mosaic membrane by using microgels
論文審査委員	(主査) 高知工科大学 教授 福富 兀 高知工科大学 教授 坂輪 光弘 高知工科大学 教授 谷脇 雅文 高知工科大学 教授 村上 雅博 帝京科学大学 教授 瓜生 敏之 九州大学 助教授 山内 昭

## 論文内容の要旨

荷電モザイク膜とは、

- (1) 陰イオン交換要素および陽イオン交換要素から成り、かつお互いに隣接している2つの微小ドメイン(ドメイン幅は1 $\mu$ m以下)が、膜の表面から裏面に貫通し
- (2) 陰イオン交換要素と陽イオン交換要素は同じイオン交換容量をもち、
- (3) 陰イオン交換要素と陽イオン交換要素は同じ形態の、膜である。

荷電モザイク膜で隔てられたイオン溶液の濃度差、あるいは圧力を駆動力としてイオンは移動し、移動の速度は大きい。

この迅速なイオン移動の機構は次のように説明されている。イオン移動を電荷移動として考えれば循環回路が形成されたことに相当する。両ドメインの幅が小さければ、溶液中でのイオン種の移動抵抗も小さくなり、全体として電解質移動は迅速に行われることになる。膜中へのイオンの収着により低濃度の電解質でも速く透過できる。また、圧力を駆動力に使えば、イオン種(塩)の濃縮も可能である。非電解質にはこのような駆動力が働かないため、透過は極めて遅く、結果として電解質と非電解質の分離が可能となる。

上に述べた理由によりこの膜の応用範囲は非常に大きいと考えられ、調製のために様々な試みがなされてきた。しかし、実用に堪え得る荷電モザイク膜が 実現されて

いるとは言い難い。本論文は、荷電モザイク膜の新規調製法、この方法で作製された膜の構造、優れた特性、工業的製造プロセスの可能性について述べたものであり、6章から成る。

第1章「緒言」では、荷電モザイク膜の構造上の特異性、特性、今までになされた調製の試みとその結果について概観した。さらに、本研究を行うに到った動機、および基礎となる考え方について述べた。

第2章「イオン交換成分の調製及び特性」では、陰、陽イオン交換成分の合成と特性付けを行なった。

陰イオン交換成分として4-ビニルピリジンマイクロゲル(A1, A2, A3) およびスフェア(A4)、4VPマイクロゲル、をサーファクタントフリーの重合法で調製し、さらに4VPモノマーを吸収させた後シード重合させたマイクロスフェア(A5)を調製した。粒径は合成条件によって、150-350 nmの範囲で調整できた。

溶液のキャスト基材とマイクロゲル集合体の形状の関係を調べた結果、(1)4VP-マイクロゲル(A)をガラスあるいはテフロン板上でキャストすると、凝集体の形態に大きな違いが現れた。(2)ガラス板上では、空気面のマイクロゲルは球形を保って不規則な凝集体を形成しているのに対し、テフロン上では空気側表面のマイクロゲルは最密充填し、かつ変形して球間は閉塞していた。ガラスあるいはテフロンと接する面では、マイクロゲルの球の状態が保たれ不規則な凝集体となっていた。内部架橋したマイクロゲルは球、あるいは多角形の形態を保持していたが、架橋していないマイクロスフェア(A4)はお互いに融合し原形を止めていなかった。マイクロゲルと非架橋のスフェア(A4)を混合した系では、A4がマイクロゲルを連結した形態が顕著に認められた。

A2のヨウ化メチルによる四級化の反応は、水系、MeOH系ともほぼ定量的に進行することが分かった。アクリルアミド単位を含む陽イオン交換成分(スチレンスルホン酸ソ-ダの共重合体、Cp)を、塩酸ガス雰囲気中、グルタルアルデヒドで架橋すると、不溶のゲル膜になった。

第3章「塩基性マイクロゲルと直鎖状スチレンスルホン酸混合系の挙動」では、荷電モザイク膜を調製するための予備的な検討としてA/Cpの混合溶液の安定性について調べた。

この系では異種イオンを混合するのにもかかわらず、急速凝集は認めらず、特異な挙動が認められた。A2に付着しているCp鎖は1 unit mol%で、A2の表面の50-60%を覆っていると見積もられた。この表面に付着したCp鎖がA2とCpの混合系を安定にしているであろうと推定した。

膜中でのマイクロゲルの連結を、膜表面の電子顕微鏡観察(SEM)と電気伝導度から判定した。マトリックス中でマイクロゲルが連結し始める量は20-25wt%であることが判った。

第4章「荷電膜の調製と膜透過特性」では、荷電膜として陽イオン交換成分のCpから成る膜、陰イオン交換成分のA4から成る膜、四級化したA4から成る膜を、また荷電モザイク膜としてA1、A3、A4、あるいはA1とA4との混合物(混合比1wt./1wt.)とCpを用い、同じプロセスで調製した。調製したこれらの荷電膜と、荷電モザイク膜の特性を比較した。Cp膜は膨潤率が大きく(370%)、KClもグルコースも共に膜を透過し、グ

ルコースは KCl より大きい流束を示した。また浸透圧によって水は高濃度液側に移動した。陰イオン交換膜では KCl、グルコース共に流束は極めて小さかった。

A1、A3、A4、および A1/A4 の混合物と Cp から得られた荷電モザイク膜は、単なる荷電膜と比べて KCl の流束は極めて大きく、また KCl とグルコースの透過速度に大きな差が現れ、荷電モザイク膜の特性を示した。4VP ミクロスフェアを単独で使用したよりも、架橋していない A4 を含む A1/A4/Cp 混合系の荷電モザイク膜の分離性能が大きかった。これは第 2 章の結果（ミクロゲル間の連結）と対応するものであった。

A1/A4/Cp 混合系の膜は、KCl の流束 ( $J_{KCl}$ )、透過率 ( $P_s$ )、電解質と非電解質の透析的分離 ( ) の測定から、また負の浸透圧 ( $J_v$ ) の出現から、明らかに荷電モザイク膜の特性を示した。

第 5 章「荷電モザイク膜の内部構造と膜透過性」では、A/Cp (A は A1/A4 混合物) 系の荷電膜について A/Cp の比率を変えて、電荷の偏りのある膜を調製し、KCl /グルコースの分離特性 を測定した。特に、 $Q$  (平衡膨潤率) の相関性について調べた。両イオン成分の量的な偏りが当量から 10 mol % 以内の範囲であれば荷電モザイク膜の膜特性を十分有していたが、30 mol % 以上偏ると膜による KCl の反発現象が明らかに認められた。グルコースの膜透過は  $Q$  に依存し、透過部位は膨潤した Cp 相であることが示唆された。

次のようにアニオン交換成分を変えた場合の膜内部構造 (TEM 写真による観察) の変化と、溶質透過性の関係について調べた。

- (1) A1/A4 の比率、(2) 低架橋密度 4 VP ミクロゲル(A3)の使用、(3) シード型ミクロスフェア(A5) の使用。

膜は、Cp/ p4VP=1(mol/mol) の配合で方法 1 によって全て調製した。

(1) では、A4 はミクロゲル同士を連結する働きを示し、KCl の流束は A 単独の場合より A4 を混入した方が大きかった。A4 単独で作製した膜では 4VP 成分の大きな塊の中に Cp と思われるサラミ状構造体が認められた。

膜調製プロセスと荷電モザイクの膜の微細構造および膜特性を透過型電子顕微鏡(TEM)写真を用いて関連付けた。ガラスプレートで水膨潤処理 (プロセス a) した場合と、テフロンプレートでアンモニアガス処理 (プロセス b) したものと比較すると、プロセス a で調製した膜はドメインが長く、かつ緊密につながった構造体となっていた。このドメイン連結に方向性はなく、等方的であった。プロセス b で作製した膜では、ドメインの連結方向はプレートに平行であった。KCl の流束は、プロセス b による膜に比べ、プロセス a で調製した膜の方が約 120 倍大きかった。ドメインの方向が KCl の流束に大きく影響する結果を得た。

(2) 低架橋密度 4 VP ミクロゲル (A3)と高架橋密度 4 VP ミクロゲル (A2) 二種類のミクロゲルから調製した荷電モザイク膜では、膜全体にミクロゲルが分散し A2 と A3 の連結が認められた。KCl の流束は比較的大きく、グルコースの流束は極めて小さいものであった。 は本シリーズ中で最大となった。

(3) シード型 4VP ミクロスフェア (A5) を用いて調製した膜の TEM 写真の観察から、ミクロゲルに含まれる直鎖状 p4VP が溶出し、膜中の A2 の連結が促進されてい

ることがわかった。この膜の KCl の流束は極めて大きいものであった。マイクロゲルの連結が KCl の流束を大きくしているもの考えられる。さらに、この膜を透過できる非電解質の分子量限界は 250-300 程度であった。

結論として、A1-A5 を単独で用いて調製した膜より、架橋密度と構造の異なるマイクロゲルを共用した膜の方が KCl の流束は大きくなった。これは A1、A2 が連結の核となり膜全体に亘るネットワークが形成され、さらに連結によって生じる膜の歪を小さくする効果があるためと考えられる。非架橋型 4VP ミクロスファ (A4) は A1 を連結させる能力は大きい、A4 自身で大きなドメインを作って膜が不均一になり、 $J_{\text{glucose}}$  が大きくなっていった。低架橋密度の A3 は変形は大きい、それ自身の融合は起きていない。A3/ A2 から得た膜は、膜全体が均質に架橋し、その結果  $J_{\text{glucose}}$  は極めて小さいものであった。A5 はシード (A2) を中心にして連結し、 $J_{\text{KCl}}$  は最大となった。これは連結しているドメインの形状が KCl 流束に大きく影響することを示唆している。

以上より 4 VP ミクロゲルを用いた荷電モザイク膜の調製において、ドメインの (1) サイズ制御、(2) ドメイン方向の制御、(3) ドメインの連結が可能であることを示すことができた。

第 6 章「総括」では、以上の結果および結論を総括するとともに、本研究で開発したモザイク荷電膜調製法の将来的な展望についても述べた。

## 審 査 結 果 の 要 旨

### 1 . 論文の評価

本論文は、荷電モザイク膜の新規調製法、この方法で作製された膜の構造、優れた特性、工業的製造プロセスの可能性について述べたものであり、6 章から成っている。

第 1 章「緒言」では、荷電モザイク膜の構造上の特異性、特性、今までになされた調製の試みとその結果について概観している。さらに、本研究を行うに到った動機、および基礎となる考え方について述べている。

荷電モザイク膜とは、(1) 微小な陰イオン交換ドメインおよび陽イオン交換ドメインから成り、これらのドメインが隣接していて、その幅は  $1\mu\text{m}$  以下であり、両ドメインは膜の表面から裏面に貫通し、(2) 陰イオン交換要素と陽イオン交換要素は同じ交換容量をもち、その形態は同じ、膜である。

荷電モザイク膜で濃度差のあるイオン溶液を隔てると、濃度差、あるいは圧力を駆動力としてイオンは速く移動し、非電解質の移動速度は極めて小さい。この特性により膜の利用範囲は非常に大きく、調製のために様々な試みがなされてきた。しかし、このような膜構造を実現することは至難の業であり、実用に堪え得る荷電モザイク膜が実現されているとは言い難い。

本章では、この膜を、高分子電解質から成る微粒子の集積によって調製できるのではないかと考えるに至った経由と実現可能性について述べている。

第 2 章「イオン交換成分の調製及び特性」では、陰、陽イオン交換成分の合成と特性付

けをおこなっている。陰イオン交換成分として4-ビニルピリジンマイクロゲル(A)を選び粒径150-350nmの範囲で調製できたこと、このマイクロゲルを四級化することによって強塩基性のマイクロゲルとなし得ること、陽イオン交換成分としてアクリルアミド単位を含む陽イオン交換成分(スチレンスルホン酸ソ-ダの共重合体)(Cp)を選び、この直鎖高分子はグルタルアルデヒドで架橋すると、不溶のゲル膜になし得ると述べている。

第3章「塩基性マイクロゲルと直鎖状スチレンスルホン酸混合系の挙動」では、AとCpの混合で急速な凝集は認めらず、Aの表面に付着したCp鎖がAとCpの混合系を安定にしているのであろうと推定している。膜中でのマイクロゲルは20-25wt%でお互いに連結し始めることを、膜表面の電子顕微鏡観察(SEM)と電気伝導度から明らかにしている。

第4章「荷電膜の調製と膜透過特性」では、陽イオン交換成分のCp、陰イオン交換成分のAのみから成る膜、四級化したAのみから成る膜を調製し、AとCp両成分から成る荷電モザイク膜とその特性を比較している。Cp膜は膨潤率が大きく(370%)、グルコースはKClより大きい流束を示し、陰イオン交換膜ではKCl、グルコース共に流束は極めて小さいと述べている。AとCpから成る膜では、単なる荷電膜と比べてKClの流束は極めて大きく、またKClとグルコースの透過速度に大きな差が現れ、荷電モザイク膜の特性を示したと述べている。架橋していない直鎖高分子から成るミクロスフェアAとマイクロゲルを共用した荷電モザイク膜の分離性能が大きく、これは混合系ではマイクロゲル間の連結が多くなったためであると結論付けている。

第5章「荷電モザイク膜の内部構造と膜透過性」では、A/Cpの比率を変えて荷電モザイク膜を調製し、膜特性を測定している。その結果、両イオン成分の量的な偏りが当量から10 mol%以内の範囲であれば荷電モザイク膜の膜特性を十分有しているという結論を得ている。

また、アニオン交換成分の連結を考え、マイクロゲル構造を変えた場合の膜内部構造(TEM写真による観察)と、溶質透過性の関係について調べている。その結果、架橋密度と構造の異なるマイクロゲルを共用した膜の方が特性(KClの流束と非電解質の分離)は優れているとの結果を得ている。

以上の研究を通じて、Aマイクロゲルから成るマイクロドメインの(1)サイズ制御、(2)ドメイン方向の制御、(3)ドメインの連結が可能であり、結果として優れた特性の荷電モザイク膜を本論文で述べた方法で調製できると結論している。

第6章「総括」では、以上の結果および結論を総括し、本研究で開発したモザイク荷電膜調製法の将来的な展望についても述べている。

以上を要するに、本論文は利用分野の広い荷電モザイク膜の新規調製法を案出し、実用化しうるプロセスを開発したものであって、工学上、工業上貢献するところが多い。工学博士の学位に十分値するものと考えられる。

## 2. 審査の経過と結果

- (1) 平成15年7月9日 博士後期課程委員会で学位論文の受理を決定し、6名がその審査委員として指名された。



- ( 2 ) 平成 1 5 年 8 月 2 8 日 公開論文発表会及び最終試験を実施した。
- ( 3 ) 平成 1 5 年 9 月 3 日 博士後期課程委員会で学位授与を可とし、大学運営委員会で承認された。

( 4 )

	すぎと よしふみ
氏 名 (本籍)	杉戸 善文 (愛知県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第21号
学位授与年月日	平成15年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻名	工学研究科・基盤工学専攻
学位論文題目	大型荷電モザイク膜の作製と実用化 Fabrication of Novel Charge Mosaic Membrane with a large area and their Practical Use
論文審査委員	(主査) 高知工科大学 教授 福富 兀 高知工科大学 教授 坂輪 光弘 高知工科大学 教授 谷脇 雅文 高知工科大学 教授 村上 雅博 帝京科学大学 教授 瓜生 敏之 東京工業大学 教授 廣瀬 幸夫

## 論文内容の要旨

### 第1章 緒言

荷電モザイク膜は電解質を透過させるが、非電解質は透過させない特性を有しており、非電解質と電解質との分離、塩水の圧透析による脱塩および塩濃縮等に利用することができる。荷電モザイク膜として、強カチオン性の基(例えば四級アミノ基)と強アニオン性の基(例えばスルホ基)をもつイオン透過性のドメインが、膜表面から裏面に貫通している構造、およびイオンの膜中の移動抵抗を少なくするために、両ドメインは隣接し、かつドメイン幅が狭い構造が要求されるが、実際にはこのような構造体を調製することは至難の技である。今までにいろいろな試みがなされてきたが成功したとは言い難い。実用化された最初の膜は、ブロック共重合体のミクロ相分離を利用して作製されたものである。しかし、ブロック共重合体の利用はその調製の困難さ、微小なドメインの構造制御等解決しなければならない技術的問題が多い。

本研究では、内部が架橋した球状のポリマー微粒子(マイクロゲル)の等方性、集積のし易さを利用し、連続した微小なドメインが膜の表面から裏面に貫通した構造体を形成することで荷電モザイク膜を作製できるのではないかと考えた。

本論文では、マイクロゲルを使用して実用性の高い大型荷電モザイク膜を作製することを

最大の目的とし作製に成功した経緯と、作製した膜の実用化例を報告した。

## 第2章 ミクログエルの合成

カチオン性ドメインの要素としてポリ(4-ビニルピリジン)(P4VP)ミクログエル(平均粒子径 220nm)と、アニオン性ドメインの要素としてポリ(スチレンスルホン酸ナトリウム)(PSSS)ミクログエル(平均粒子径 210nm)を、サーファクタントフリー重合と化学的な修飾によって合成した。このミクログエルは形状が均一で、かつ粒径分布幅はともに狭かった。

サーファクタントフリー重合の処方を検討することにより、新たに PSSS ミクログエルが合成できるようになった。また、有機溶媒の選択によって、両ミクログエルの安定な溶液を得ることが可能であることを見出した。有機溶媒系を経由する親水性膜の調製が可能であり、その結果、多成分系の微細構造を構築する方法の幅を広げ得るとの結果を得た。

## 第3章 ミクログエルの集積による荷電モザイク膜の作製

大型膜を作製するという目的を達成するためには有機溶媒系が良いと考え、マトリックスポリマーとして有機溶媒に可溶性ポリマーを使用し、ミクログエル同士を連結・固定することなくマトリックスポリマーにミクログエルを分散させるだけという単純なプロセスで膜作製を行った。P4VP および PSSS ミクログエルを各々ジメチルホルムアミド(DMF)に分散し、両分散液を混合後、マトリックスポリマーの DMF 溶液と混合してコーティング液を調製した。コーティング液をナイフコーターで離型紙上にコートし、続いてポリエステル織布支持体を圧着し、乾燥した。この前駆膜中の P4VP ミクログエルのピリジノ残基をヨードメタンで四級化処理し、荷電モザイク膜を得た。

マトリックスポリマーとしてポリウレタンを使用することにより、カチオン性ミクログエルとアニオン性ミクログエルを凝集させないで分散・混合することが可能となった。さらにミクログエルをマトリックス中に分散するだけで、ミクログエル間を連結・固定する特別な操作を施さないという単純なプロセスで作製した膜でも、望む透過性能が発現した。P4VP ミクログエルと PSSS ミクログエルの混合モル比を 1 / 1 に固定した場合、膜中のミクログエルが 20 wt.% 以上になると、KCl の透過流束は増加し始めた。膜中のミクログエル比率の増加に伴い、KCl の透過流束は大きくなったが、60 wt.% 以上では膜にひび割れが認められるようになった。以上の結果から膜中のミクログエル比率を 50 wt.% として膜を作製した。

## 第4章 ミクログエルを要素とする荷電モザイク膜の特性

第3章で述べたポリウレタンマトリックスからなる膜について各種溶質の透過特性を測定した。電解質の透過流束は水和したイオン半径が大きくなるに伴い小さくなり、2価、3価イオンを含む電解質の透過流束は1価イオンを含む電解質に比べ小さくなる傾向を示した。この結果は、水和したイオン半径の大きさおよび解離平衡定数の影響によるものと考えられる。また、グルコース等の非電解質は膜によって阻止されるため透過流束は小さく、分子量の大きいものほど小さくなる傾向を示した。

膜の電気伝導度は、膜中のミクログエル比率が 20 wt.% 以上で急激に大きくなり、ミクログエルの連結が認められ、イオンが透過する回路が構築されていることが確認できた。電解

質と非電解質の分離性は大きな値 (13) を示したが、荷電モザイク膜の特徴である負の浸透は確認できなかった。これは塩の透過流束が小さく、これに伴う水の移動も小さかったためと考えられる。一方、塩の膜透過係数は、塩濃度が低くなるとともにわずかではあるが大きくなり、イオン交換膜とは異なる傾向を示した。以上の結果から、ポリウレタンマトリックスからなる膜は荷電モザイク膜としての分離特性は示したが負の浸透が明確でなく、さらに改良が必要であると考えた。

荷電モザイク膜をゼラチン、アスパルテーム等の工業材料の脱塩精製に応用した結果、実用可能であることが判った。

## 第5章 高性能化された荷電モザイク膜の作製および特性

第4章の結果から荷電モザイク膜特性を十分に有する膜の作製を行った。マトリックスポリマーとして水素化ニトリルゴムを使用することによって、ポリウレタンからなる膜に比べ、溶質の透過流束は3～4倍大きな値を示した。膜特性 電解質と非電解質の分離性 (25)、塩の膜透過係数、膜の電気伝導度 の測定、負の浸透の出現から、この膜が荷電モザイク膜の特徴を具備していることがはっきりと確認できた。

膜の断面の透過型電子顕微鏡写真において、ポリウレタンマトリックスからなる膜の中では、マイクロゲルはほぼ均一に分散していたが、水素化ニトリルゴムからなる膜ではポリマーがマイクロドメインを形成するように相分離し、マイクロゲルが凝集する傾向を示していた、その結果、マイクロゲルの連結が顕著になりマイクロゲルを要素としたドメインが膜の表面から裏面に貫通した構造が構築したと考えられる。以上、最大の目的である、荷電モザイク膜特性を有する大型膜 (幅 1m、長さ 50m) を調製するプロセスを確立した、しかもマイクロゲルを連結・固定する特別な操作をしない単純なプロセスで作製できたのは画期的なことである。

各種カチオン性イオンからなる塩について膜透過係数を測定した結果、裸のイオン半径が小さいLiClはNaCl, KClに比べ透過流束および膜透過係数が小さい値を示した。この結果は、透過流束および膜透過係数は裸のイオン半径ではなく水和したイオン半径によって決まることを示唆している。

## 第6章 膜作製および膜使用による製品製造価格

単純なプロセスで膜作製ができたため、既往の類似膜に比べ膜製造価格を非常に低くすることが可能となった。実用的に利用できる幅広の荷電モザイク膜としては唯一の膜であり、さらに低価格であることは大きな特徴である。実用実施例として紹介した海水の脱塩・濃縮のランニングコスト計算から、荷電モザイク膜を使用した拡散透析法は電気透析法や逆浸透膜法のような電気エネルギーや圧エネルギーをほとんど消費しない省エネタイプの脱塩法であることが判った。

## 第7章 実用実施例と参加プロジェクト

海水中の有価成分を脱塩・濃縮分離して商品化を検討している。脱塩方法として常温、常圧における脱塩が可能であるという荷電モザイク膜の特徴を活かした拡散透析法が有用

であった。財団法人四国産業・技術振興センター「超高純度塩化ナトリウムの製造技術およびその新規利用技術の開発」に係る委託業務実施計画において荷電モザイク膜が使用されており、この内容を紹介した。

実験的な検討段階から実用段階に移りつつあることを述べた。

## 第8章 社会的な波及効果および将来展望

電気透析法に見られる発熱による目的物質の変質、イオンの吸着による膜汚染等の原因で適用できなかった分野に、荷電モザイク膜を使用した拡散透析法は特に有用である。また、荷電モザイク膜による圧透析法が実現できれば、海水の淡水化にも応用可能であり、飛躍的に用途が広がり、社会的波及効果は大きいと考えられる。今後は多孔性支持体とミクロゲルを使用した圧透析可能な荷電モザイク膜の作製方法について緊急に検討する予定である。

## 第9章 総括

本研究では、従来いろいろな試みがなされたにもかかわらず実現できなかった荷電モザイク膜特性を有する大型膜の作製およびその実用化をめざした。その結果、P4VP ミクロゲル、PSSS ミクロゲルおよび水素化ニトリルゴムを使用して単純なプロセスで大型膜を作製することができた。この膜が荷電モザイク膜特性を有することが確認された。さらに、この論文に述べられた考え方とプロセスによって、荷電モザイク膜の実用の道が拓けた。

## 審査結果の要旨

### 1. 論文の評価

荷電モザイク膜は電解質を透過させるが、非電解質は透過させない特性を有しており、非電解質と電解質との分離、塩水の圧透析による脱塩および塩濃縮等に利用することができる。荷電モザイク膜として、強カチオン性の基と強アニオン性の基をもつイオン透過性のドメインが、膜表面から裏面に貫通している構造、およびイオンの膜中の移動抵抗を少なくするために、両ドメインは隣接し、かつドメイン幅が狭い構造が要求されるが、実際にはこのような構造体を調製することは至難の技である。膜機能の原理が発表されて半世紀以上に亘って、この膜を調製するいろいろな試みがなされてきたが、全て小型で、試作の実験室的な段階に止まり、大型で実用に堪える膜の作製に成功した例は無い。

本研究は、内部が架橋した球状のポリマー微粒子（ミクロゲル）の集積を利用し、期待する構造体を形成することで目的とする荷電モザイク膜を容易に作製できるのではないかと考え、その調製プロセスを確立しようと意図したものである。

実施したプロセスの概略は以下に項目としてまとめた通りである。

1. イオン性ミクロゲルの合成 -
2. コーティング液を調製（マトリックスポリマ - とミクロゲルの混合）
3. 膜調製 - 化学修飾
4. 支持体への膜圧着

上記のプロセスにおいて特に問題になるのは、2の段階のでアニオン性の微粒子とカチオン性の微粒子を混合する際に凝集体とならず均一な混合液を作製できるか、また、十分な強度が得られるマトリックス材を選択できるかという2点である。

さらに調製した膜の表面から裏面に、マイクロゲルドメインが連続連結しているような構造が実現できるかが最大の問題となる。これらの問題を、具体的には以下のような方法で検討している。

カチオン性およびアニオン性ドメインの要素として、粒径の揃ったポリ(4-ビニルピリジン)(P4VP)マイクロゲル(平均粒子径220nm)と、ポリ(スチレンスルホン酸ナトリウム)(PSSS)マイクロゲル(平均粒子径210nm)を、サーファクタントフリー重合と化学的な修飾によって合成している。

先ず第1の問題はジメチルホルムアミド(DMF)を溶媒に用いることによってマイクロゲルが凝集せず、マトリックスポリマーとしてポリウレタンを使用することで均一なコ-ト液が作製できることを見出し解決している。さらに、マイクロゲルの膜中での割合が20重量%以上でマイクロゲルドメインの膜内貫通が起こり始め、かつ60重量%までは強度が十分な膜が作製できることを見出している。

ポリウレタンマトリックスからなる膜について各種溶質の透過特性を測定した結果、グルコース等の非電解質は膜によって阻止されるため透過流束は小さく、工業材料の脱塩精製に応用でき、透過特性はイオン交換膜とは明らかに異なる傾向を示したが、荷電モザイク膜の特徴である負の浸透は確認できなかったと述べている。

そこで、マトリックスポリマーの材料を吟味し、水素化ニトリルゴムを使用することを考え。その結果、ポリウレタンからなる膜に比べ、溶質の透過流束は3~4倍大きな値となる結果を得ている。膜特性 電解質と非電解質の分離性(25)、塩の膜透過係数、膜の電気伝導度の測定、負の浸透の出現から、この膜が荷電モザイク膜の特徴を具えていることを確認している。

この研究によって得られた膜と既往の類似膜を比較し、コストパフォーマンスおよびランニングコストの観点からの優位性、将来実際に応用される分野の展望を述べると共に、利用が始まっている実施例および参加プロジェクトを紹介している。

以上要するに、従来いろいろな試みがなされたにもかかわらず実現できなかった荷電モザイク膜特性を有する大型膜の作製およびその実用化をめざし、その結果、独創的で単純なプロセスによって荷電モザイク膜特性を有する大型膜(幅1m、長さ50m)を調製するプロセスを確立したことは、画期的なことである。本論文の内容は工学上、貢献する所が大きく、工学博士授与の価値あるものと考えらる。

## 2. 審査の経過と結果

- (1) 平成15年7月9日 博士後期課程委員会で学位論文の受理を決定し、6名がその審査委員として指名された。
- (2) 平成15年8月28日 公開論文発表会及び最終試験を実施した。
- (3) 平成15年9月3日 博士後期課程委員会で学位授与を可とし、大学運営委員会で承認された。

氏名 (本籍)	ハルソノ ハディ Harsono Hadi (インドネシア)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	甲第22号
学位授与年月日	平成15年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻名	工学研究科・基盤工学専攻
学位論文題目	Photovoltaic Water Pump System (太陽光発電による揚水システム)
論文審査委員	(主査) 高知工科大学 教授 徳田 仁 高知工科大学 教授 成沢 忠 高知工科大学 教授 横川 明 高知工科大学 教授 王 碩玉 高知工科大学 助教授 楠川 量啓

## 論文内容の要旨

本研究は太陽光発電の電気でポンプを用い水を高所に汲み上げる装置について述べる。

自然エネルギーは公害の多い火力発電や強大な安全システムを必要とする原発と比しクリーンなエネルギーとして世界各国で一般的に認識され自然エネルギー開発に重点が置かれている。この流れの中で本研究は自然エネルギーの中でも日射量の大きい高知やインドネシア等の赤道に近い地域を想定した太陽光発電システムについて研究を行う。太陽エネルギーは従来のエネルギーに比べエネルギー密度が小さいため現代社会の経済基準では社会に適合できないが将来の望ましい社会基準に適合出来得るよう各方面の研究開発が期待される。

第1章では太陽光発電技術開発の背景、問題点について述べ都市部における大規模システムの脆弱さを考慮して、雲の発生し易い所を除いた山間部や島の多いインドネシアの地形等を考え揚水によるエネルギー貯蔵を備えた独立系の太陽光発電システムを提案した。第2-4章ではシステム及び其のコントロールの詳細な説明を行なうと共に実験結果を示した。第5章ではこの結果に基づき本システムに小型の電池を加えるだけでかなりの出力向上が見込まれることを示した。

第1章 緒言では、太陽エネルギーはあらゆる所に均一に分布し更に貯蔵できない、しかも出力密度は小さく天候による変動は非常に大きい。人はこれらの変動に合わせた生活活動を心掛けているが利便性には問題が生じる。そこでこれをマッチングさせるため、我国でも電力事業法及び其の関連法等が改正され家庭等小規模発電からの余剰電力の売電が可能にな

った。それに伴い送電網の発達した都市部ではこれらをネットワーク化することにより電力量の空間的平均化平滑化が行われ火力発電所とも結合する事によりマッチングが図れるようになった。これにより都市部での太陽光発電システムはほぼ確立されたと言える。しかしまだ光発電システムは高価であるため研究の主力は安価で高性能な光発電用素子材料の開発や景観問題に注がれている。また巨大システム化の危惧も残される。一方田舎や島や山岳地帯では孤立している為電力貯蔵等による時間的平均化による平滑化を行う必要がある。電力貯蔵には電池や水を電気分解して得られる水素及び燃料電池を用いたシステムや小型ターゼル発電機とのハイブリットが提案されている。水素に変換する方法は大変有望視されているが其の貯蔵性運搬性には疑問が残る。また水素自体は水と違い地球の重力圏を脱するため水素に変換する事は貴重な水を地球外に放出する事となり大きな問題となる。本研究では大きさ当たりの貯蔵量も小さく腐食等による環境への影響も芳しくない電池を極力避ける事を考慮して水をそのまま用いる揚水発電による短期間の貯蔵を提案する。この水は高所の住民の生活水のみならず家畜の水としても使える。

**第2章 ダブルポンプ**では、太陽光出力は朝夕は小さく昼は大きい、一方ポンプモーター効率は定格値近く以外では極端に効率が下がる。そのため太陽電池出力の全てを有効に使う事はできず1部は捨てる事になる。そこで理想的な太陽発電出力に見合ったモーターの選択を行うと共に捨てているエネルギーの回収を目的として、大小2つの遠心ポンプを備えた装置を提案し実験をおこなった。太陽光発電は直流であるが通常のもーターは交流3相である為インバーターを用い日射量によりコントロールしながら運転した。結果は予期した結果がえられたが、天気の良い時はそれ程多くないため大きいポンプの運転時間は少なかった。また日射量が小さいと全く運転できなくなる事が多かった。

**第3章 モジュール特性**では、太陽電池の発電特性を知るためモジュール1つの輻射量による電流電圧特性を測定した。これらの結果を2項指数形の関数表示を用いて表した。各係数は測定結果を用い最小自乗法による線形及び対数線形連立方程式を逐次近似を行い求めた。この式と測定結果はよく一致した。この式よりある輻射量に対し電流と電圧を掛けた電力が最大となる電流電圧の組を求める事ができた。

**第4章 シングルポンプ**では、第2章の結果から小さな出力のポンプ1台が適当と考えられるため、1台のポンプを用いた実験を行った。但し遠心ポンプは小型であるため望ましいが効率が低い、このため大型にならざるを得ないが効率の良いピストンポンプを用いる事とした。第2章では電圧一定の元で実験を行ったが本章では太陽電池電流出力をPWMを用い適当な時間間隔で切り替えることで電流掛ける電圧が大きくなる電流値を求める事により最大電力が得られる追跡装置を組み込んだ。実験結果は3章から予測される結果と良く一致する場合と予測値より小さくなる場合があった。そこで3章の式に等価インピーダンスを導入する事により実験値と良く一致する事が分かった。このインピーダンスにより発電効率が良く表される事が示された。またこのインピーダンスはモーター温度に関係する。



**第5章 電池を備えたシングルポンプ**では、第4章の実験では太陽電池出力に対しポンプ出力が小さくなる事が多く、使わないで捨てるエネルギーは熱として放出され故障の原因となる。そこで出来る限り小さな電池で余分の使わない太陽電池出力を吸収し熱発生を小さくするシステムを提案する。電池容量はポンプ出力以下の太陽電池出力を貯めてポンプ出力以上になった時使うだけの容量とする。これを電池の種々の効率に対して求めた。その結果かなり小さな電池容量でもポンプの総出力が大きく増大する事が分かった。

以上により独立系太陽光発電システム開発の1つの方向が示せた。

本研究により太陽発電システムの信頼性の高い設計が容易に出来る事が示された。また本実験結果では光発電モジュールの効率は13%程度であったが日射量の変動が大きくこの変動に対応できるポンプはないため実際の効率は3-8%と、いくら太陽電池効率を上げても機械効率の部分で大きく低下する事が実験的に明らかにされた。揚水発電の部分を考えて更に大きく効率は低下する。これは稲作を太陽エネルギー貯蔵と見た時の効率に比し大幅向上とは言い難く米の再生性運搬性栄養性をも考えると維持面を除けば現段階での実用化は難しい。また電気エネルギーに変換されなかった他の大きな余分の部分は熱として排出されこれが温度上昇を招き機器の故障の原因となる。さらにシステムは大型と成らざるを得ず風雨の被害を受けやすいようでありシステムの寿命は短いものになる。今後はこの方面に対しても留意した研究を行う必要がある。以上本研究により設計に必要な資料と共に今後解決すべき課題を示す事が出来た。

## 審 査 結 果 の 要 旨

### 1. 論文の評価

本論文は太陽光発電の電気でポンプを用い水を高所に汲み上げる装置について研究をしたものである。

申請者はインドネシア国立研究所に於いて長年太陽エネルギー開発研究に従事し、また1年間ドイツ留学経験を持つ太陽エネルギー研究に関し世界的見識を有している。

先ず近年クリーンエネルギーとして世界的に関心を集めている太陽光発電はエネルギー密度が小さく出力変動が大きいと特徴付けている。これに対処すべく送電網の発達した都市部では送電網を用いて広範囲の電力を集め且つ平滑化する事により、都市部に於ける太陽光発電システムはほぼ確立され発電機の低価格化の為の新素材開発及び景観が主要な未解決の問題となっていると分析した。これに対し送電網の無い山間部や島等の孤立した地域では電力供給の平滑化にはエネルギー貯蔵が不可欠である事を述べ、水素等2,3の貯蔵法及びその長所短所について論じている。本論文では高所に於ける家畜や生活用水としての水の供給に加え位置エネルギーによるエネルギー貯蔵法を提案している。また牧草を太陽エネルギー受光面と見た時、エネルギー収集には都市部に於ける送電網の代わりに水のみ場に集まる家畜により集

める案を示し、新たな独立系の太陽光発電システムとして提案し、製作、実験を行った。

揚水に対しては通常良く用いられる3相モーターと渦巻きポンプの組み合わせを用い変動の大きい太陽光を考慮し大小2つのポンプを用いた装置を使った。しかし運転可能時間が短くなる結果となった。その為変動が大きくても効率の高いピストンポンプと直流モーターの組み合わせを用いた実験を行なった。各々に対してはそれぞれに適した制御法を行なっている。その結果ピストンポンプを用いた装置は長い時間運転でき良い結果が得られた。また等価インピーダンスを用いる事で実験値と予測値は大変良い一致を見た。これにより太陽光発電システム設計が容易に行なえる事が示された。更にまた、小型の電池を組み合わせると性能向上と共に故障軽減も図れる事が示唆された。

地域や国情を考慮し太陽光発電と揚水発電を組み合わせた新たな発想により社会や環境を十分に配慮した新たなシステムが提案され実際に製作し実験を行い信頼できる計測結果が示されている。太陽光発電利用技術開発が多方面から待望されブレークスルが行なわれた新素材開発やエネルギー貯蔵としての水素利用技術分野では多くの成果が上げられている中で、現状ではあまり目に見える成果が期待できない未利用の地域地形を対象とした独立系の太陽光発電システムの研究に地道に取り組んだものである。その結果は新たなブレークスルーとなり得るものであり博士(学術)の学位に相当すると判断される。今後もこの姿勢での研究継続を期待する。

## 2. 審査の経過と結果

(1) 平成15年7月9日

博士後期課程委員会で学位論文の受理を決定し、5名がその審査委員として指名された。

(2) 平成15年8月28日

公開論文発表会及び最終試験を実施した。

(3) 平成15年9月3日

博士後期課程委員会で学位授与を可とし、大学運営委員会で承認された。

	わたなべ のぶかず
氏 名 (本籍)	渡邊 伸和 (神奈川県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第23号
学位授与年月日	平成15年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻名	工学研究科・基盤工学専攻
学位論文題目	耐荷メカニズムに基づいたLNG地下タンクの設計合理化 A Rationalized Design of LNG In-ground Tanks Based on Load Carrying Mechanisms
論文審査委員	(主査) 高知工科大学 学長 岡村 甫 高知工科大学 教授 中田 慎介 高知工科大学 教授 草柳 俊二 高知工科大学 教授 藤澤 伸光 高知工科大学 教授 島 弘

## 論文内容の要旨

通常、私たち設計者は鉄筋コンクリート構造物の設計作業で、まず構造形式・構造寸法・材料・配筋を仮定する。その後、その仮定に基づいて照査を行う。要求性能が満足されない時、または性能を満足していても、更なる合理化が可能な時には、構造等を見直し、再度照査を行う。

照査に線形解析を用いた設計では、上記の設計作業は比較的単純である。設計者はこれまでの自身の経験から、構造解析と断面照査結果を見通して設計仮定を行ってきた。また照査の結果、合理化が必要な場合は、要求性能に対応した限界値に対する応答値の比率により、合理化の可能性を容易に推定することができる。

しかし性能照査型設計への移行によって、これまでの線形解析による許容応力度に代表されるような画一的な仕様規定から、構造物の非線形領域の挙動をも含む多様な性能がその照査項目となると、設計仮定は多様性を持つと同時に、合理的な構造の設定は格段に難しくなる。

これまで非線形解析を用いた設計では、非線形解析そのものが難しい問題であった。鉄筋コンクリートの構成則あるいは非線形解析コードの選択、そしてなじみのうすい数多くのパラメータの入力は、設計者にとって悩みの種であった。しかしこれらの問題は現在、多くの有能な研究者と設計者によって、完全にではないにしろ解決され、最近の鉄筋コン

クリートの非線形解析の手法の進歩は、設計者に確実に「ひとつの解」を与えてくれるようになりつつある。

しかし、非線形解析によって「ひとつの解」を得た後に更なる合理化を図る時、その見通しをつけることは線形解析による場合ほど容易ではない。例えば塑性ヒンジの形成箇所が比較的容易に特定できる構造物と異なり、LNG 地下タンクに代表されるような高次の不静定構造物では、多くの場合、一度の非線形解析結果からその設計の合理化と変化の可能性を知ることは困難である。

屋根-側壁-底版が一体となった剛構造の LNG 地下タンクの躯体は、高次の不静定シェル構造物である。このような構造物は種々の荷重に対して複雑な経路を辿って破壊に至る。すなわちコンクリートのひびわれ、鉄筋降伏などによる局所的な剛性の低下、それによる応力の再配分と、荷重レベルにより耐荷メカニズムの変化を繰り返して構造物全体系での不安定状態 (= 破壊) に到達する。

高次の不静定構造物では、作用する荷重によって様々な二次応力が発生している場合が多い。ここで二次応力とは実際の耐荷メカニズムに直接関係が無いが、そこに剛性があることによって、その剛性に応じて発生する断面力である。二次応力は断面のひびわれ、鉄筋の降伏などによって剛性が低下するに従い断面力も減少するため、直接この部分の降伏が構造物の破壊に結びつかない。逆に言うと非線形解析の結果で、この二次応力によってある断面が降伏に達していても、この断面の合理化は可能なのである。

またこのような二次応力は力の再配分を伴う。剛性の低下によって減少する断面力は一般には構造物の他の部分へと再配分される。また時にはそれが躯体以外の例えば地盤反力の増加となって現れることもある。再配分が困難な場合にはそれが構造物の破壊を意味し、それは二次応力とは認められない。

論文では二次力を見出すことが、LNG 地下タンクのような高次の不静定構造物の設計合理化の実現に結びつくものと考え、地下タンクに作用する代表的な荷重に対して、非線形解析を実施しその耐荷メカニズムを明らかにした。続いて耐荷メカニズムを分析することによって二次力の特定を試みている。更にその二次応力に対して断面の合理化を行い非線形解析により、その妥当性を確認した。

本研究の目的は、LNG 地下タンクの非線形解析を用いた性能照査型設計において、躯体の耐荷メカニズムを明らかにし、同時に二次応力を特定することによる設計合理化の手法を提案することにある。

本論文は全編 8 章より構成されている。以下に各章の内容について要約する。

## 第 1 章 序論

筆者が本研究に取り組んだ背景と目的、そして論文全体の構成を示す。

## 第 2 章 LNG 地下タンク設計技術の発展と変遷

本論文で取り上げる LNG 地下タンクの設計技術面での特徴と、それに関係して多くの先人によって進められてきた研究の変遷を概観する。さらに建設会社の一設計者として筆者

がどのように LNG 地下タンクに関わってきたかについて記述する。

### 第 3 章 躯体設計・照査方法の概要と結果の検証

本章では、地下タンク躯体の部材、断面がどのような荷重、状態から決定しているかについてまとめている。その結果から以降の章での合理化の対象を抽出することを目的としている。

まず、線形解析を基本とした某 LNG 地下タンク設計の概要を記述する。それにより LNG 地下タンクで、要求性能を保証するためにどのような性能照査がされているかについて整理する。

また同タンクで実際に適用した非線形解析を用いた照査の概要について記述する。ここでは非線形解析を単なる照査に用いたのではなく、配筋にその結果を反映した適用例である。

第 4 章以下第 7 章までが本研究の主要部分にあたる。第 3 章で示した合理化の対象とした要素に対して、実際の挙動と非線形解析による耐荷メカニズムの確認により合理化の可否を判断し、その時の手法を提案する。

### 第 4 章 内圧に対する地中連続壁と側壁の相互作用

本章では、「仮設である地中連続壁の存在を考慮することが躯体、特に側壁の鉄筋を増加させる」というこれまでの設計結果に対する検証と側壁円周方向鉄筋の合理化を目的とした。

仮設である地中連続壁の躯体設計での考慮方法について検討する。施工過程を追った荷重の載荷と躯体の構築について仔細に追跡した。その結果、内圧により円周方向に軸引張力が作用する側壁とそれによる側壁の剛性低下と、地中連続壁への断面力の移行という応力再配分の典型的な現象が確認できた。その結果を基にして、従来の地中連続壁の設計上の考慮方法の検証と、実挙動から導かれる合理化設計法を提案した。

以下の 3 章は躯体の耐荷メカニズムの分析である。底版と側壁を一体とした剛結合型 LNG 地下タンクに作用する主要ないくつかの荷重載荷パターンに対して非線形解析を行い、ひび割れ、あるいは材料の降伏による剛性の低下とそれに伴う断面力の再配分の見地から、地下タンク躯体の耐荷メカニズムを明らかにし、二次応力を特定した。更に配筋量を変化させることにより二次応力を検証した上で、それらを考慮した設計合理化の提案を行った。

### 第 5 章 土圧・水圧に対する躯体の耐荷メカニズム

側壁の外側から作用する土水圧に対する耐荷メカニズムについて分析している。土水圧は RC 円筒シェル地下タンクの形態を成立させている重要でかつ大きな荷重である。合理化の対象は、側壁下部の外側鉛直方向鉄筋である。剛性の大きい底版を持つ円筒シェルに発生する円周方向圧縮軸力と側壁下部の鉛直方向曲げモーメントに着目した。終局耐力は円周方向軸圧縮破壊によるものであり、鉛直方向曲げモーメントは終局にほとんど寄与

しない二次応力とみなすことができる。

しかし、鉛直方向鉄筋低減の影響は終局までの過程で予想外に大きく、常時性能を保証するために、可能な合理化はわずかであった。

## 第 6 章 揚圧力に対する躯体の耐荷メカニズム

本章で扱った荷重は、底版下面に上向きに作用する水圧（揚圧力）である。供用後に内部の地下水位を自然水位まで復水するタイプの剛底版型の地下タンクでは、この揚圧力は非常に大きな荷重である。また底版 / 側壁間剛構造のタンクでは、側壁の壁厚、配筋、内側のハッチを決定する主要な荷重である。合理化の対象は、側壁下部の円周方向鉄筋と鉛直方向外側鉄筋である。

ここで対象とする断面力である側壁下部の円周方向引張軸力については二次応力と見なすことができるが、鉛直方向曲げモーメントは底版の中央での曲げモーメントと同様、二次応力とは判断できなかった。

## 第 7 章 地震時地盤変位に対する躯体の耐荷メカニズム

本章で扱った荷重はレベル 2 地震時の地震時水平地盤変位である。合理化の対象は側壁一般部円周方向鉄筋である。

非線形解析によって算定した側壁各部に発生する断面力と歪の推移から、終局時の耐荷メカニズムに寄与の大きい断面力と二次応力を特定した。更にこの荷重に対して、鉄筋量を変化させた非線形解析によって側壁一般部円周方向鉄筋の合理化の可能性を確認した。

## 第 8 章 設計合理化の実現

第 4 章で提案した内圧に対する地中連続壁の考慮方法と、第 5 章から第 7 章で提案した主要な荷重に対する合理化の提案に基づき、3 章で示した側壁の鉄筋を対象として配筋を見直し、線形解析を基本とした配筋に対する合理化の可能性を示した。

また、非線形解析による耐荷メカニズムの分析からの二次応力の特定方法と合理化設計手法をまとめた。

以上、本論文では、LNG 地下タンクの非線形解析を用いた性能照査型設計による側壁鉄筋の合理化の可能性を示すと共に、

非線形解析による円筒シェル構造物の耐荷メカニズムの確認

非線形解析結果からの二次応力の特定方法の提案

により、高次不静定構造物の非線形解析を用いた性能照査型設計における、設計合理化手法へのアプローチを示すことができた。

# 論文結果の要旨

## 1. 論文の評価

性能照査型設計への移行によって、線形解析による許容応力度に代表されるような従来の画一的な仕様規定から、構造物の非線形領域の挙動をも含む多様な性能がその照査項目となる傾向にある。その場合、設計に対する仮定条件が多様化すると同時に、合理的な構造の設定は格段に難しくなる。非線形解析の結果を活用して設計の合理化を図ろうとすると、その見通しをつけることは線形解析による場合ほど容易ではなく、LNG(液化天然ガス)地下タンクに代表されるような構造物では、多くの場合、一度の非線形解析結果から、その設計の合理化と変化の可能性を知ることは不可能であるからである。

本論文では、非線形解析をこのような状況での設計合理化の有力な手段であることを明らかにし、設計者が見通しを持って設計の合理化をはかるための手順を提案している。高次の不静定シェル構造物は、種々の荷重に対して複雑な経路を辿って破壊に至り、コンクリートのひびわれ、鉄筋降伏などによる局所的な剛性の低下、それによる応力の再配分と、荷重レベルに対応する耐荷メカニズムの変化を繰り返して、構造物全体系での不安定状態(=破壊)に到達するが、この現象は精度の良い非線形解析によってのみ定量化できる。地下タンクに作用する代表的な荷重(内圧、土水圧、揚圧力、地震時地盤変位)に対して、非線形解析を実施し、その耐荷メカニズムを明らかにすると共に、その結果を活用することによって、大幅な鉄筋量(側壁円周方向鉄筋の約20%)の削減が可能なことを明らかにした。また、不静定シェル構造物の耐荷メカニズムに基づいた「設計合理化手法へのアプローチ」を示した。

これらは性能照査型設計の普及をさまたげている問題に対する一つの回答であり、その普及に大きく役立つ内容であり、今後の鉄筋コンクリート構造物の設計技術の発展に資するところ大きいものと思われる。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。

## 2. 審査の経過と結果

(1) 平成15年7月9日

博士後期課程委員会で学位論文の受理を決定し、5名がその審査委員として指名された。

(2) 平成15年8月28日

公開論文発表会及び最終試験を実施した。

(3) 平成15年9月3日

博士後期課程委員会で学位授与を可とし、大学運営委員会で承認された。

	なかの まさふみ
氏名 (本籍)	中野 正文 (東京都)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第24号
学位授与年月日	平成15年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻名	工学研究科・基盤工学専攻
学位論文題目	厳しい立地環境に建設する LNG 貯層の開発 Development of LNG storage tanks built in severe environmental constraint
論文審査委員	(主査) 高知工科大学 学長 岡村 甫 高知工科大学 教授 中田 慎介 高知工科大学 教授 草柳 俊二 高知工科大学 教授 藤澤 伸光 高知工科大学 教授 島 弘

## 論文内容の要旨

1969年クリーンエネルギーであり長期の安定供給が可能であるLNG(液化天然ガス)が初めて導入されて以来、LNG地下式貯槽は安全で周囲の環境ともよく調和する貯蔵設備として、日本全国で多数建設されている。大深度地中連続壁工法、大型堅型 NATM 工法等、大深度地下構築技術の急速な発展により、貯蔵容量も開発当初の1万KLから20万KLまでに大容量化され、土地の有効利用が図られるとともに経済的な地下式貯槽が実現されている。一方、LNG基地の立地については近年厳しさを増しており、立地環境によっては、近隣火災、飛来物に対する高い安全性を有するとともに景観にさらに配慮したLNG貯槽設備として、屋根をコンクリート製とし貯槽設備全体を地盤面下に埋設し、さらに屋根上部に植栽による緑化を施したLNG地下式貯槽の開発が必要とされていた。

本論文は、屋根上部に植栽を施した埋設式LNG地下式貯槽を実現するための、低ライズのコンクリート製ドーム屋根の設計技術と構築技術、および建設に伴う掘削土を植栽基盤へ有効利用するための土質改良技術に関する研究を取りまとめたものである。

設計技術としては、コンクリート製ドーム屋根を対象とした模型破壊実験を行うとともに、材料の非線形性を考慮した幾何学的非線形解析および各種規準による構造安定性照査を行い、これらを総合的に評価し、低ライズのドーム屋根の構造安定性に関する照査方法を提案した。また、構築技術については、トラス支保工に比較し建設費の低減が図れるエアサポート工法において、エアサポート圧、コンクリート打設方法をパラメータと



した仮設鋼製屋根の座屈安定解析を実施し、その結果を基に仮設鋼製屋根の仕様検討を行い、エアサポート工法によりコンクリート製屋根を合理的に構築する方法を提案した。さらに、掘削土の有効利用技術では、パーライト土質改良工法を開発するとともに、本工法の土質改良効果と植栽基盤材としての土壌改良効果を評価した。

低ライズのコンクリート製屋根の設計、構築技術に関する研究成果を基に、容量 20 万 KL の埋設式 LNG 地下式貯槽 3 基と容量 6 万 KL の埋設式 LPG 地下式貯槽 1 基を実現した。また、パーライト土質改良工法の適用により約 2 万 m<sup>3</sup>もの掘削土を植栽基盤として有効利用することができ、約 35%ものコスト削減を達成した。

本論文は、7つの章から構成され、以下にその要旨を述べる。

## 第1章 序論

第1章では、本研究を実施するに至った背景、研究の目的、特徴、および論文の構成について述べた。

## 第2章 LNG貯槽とLNG地下式貯槽

第2章では、LNG貯槽の型式とLNG地下式貯槽の概要について述べた。

日本はLNGの大部分を輸入に依存しており、LNG受入基地におけるLNG貯蔵設備の重要性はますます高くなってきている。このため、大量の可燃物を取扱うLNG受入基地に対しては、高い安全性をもつLNG貯蔵設備が求められている。-162 という極低温の液体を貯蔵するLNG貯槽に必要な機能としては、内容液の漏洩がなく、外部からの熱に対する断熱性能が十分であり、液圧その他の荷重に十分耐える構造などがある。これらの条件のもとで、世界各地で多種多様な型式の貯槽が考案され実用化されているが、貯槽型式としては、地上式貯槽、地下式貯槽、および地上式の構造ではあるが周辺に盛土を設けたものまたは地中ピット内に設置したものの3種類に分けられる。

日本では、東京ガスおよび東京電力のLNG基地において、安全で周囲の環境ともよく調和し、土地の有効利用が図れるLNG地下式貯槽が、LNG導入早期の段階から採用されている。このLNG地下式貯槽に関する建設技術の発展は大きく3つの世代に区分することができる。第一世代は1980年代前半までに建設された開発初期段階の容量9.5万KL以下のLNG地下式貯槽であり、主要な課題は設計、構築技術の確立であった。第二世代は限られた敷地内に大量のLNGを経済的に貯蔵できる大容量LNG地下式貯槽である。1980年代前半から1990年代後半にかけて、大深度地中連続壁工法、大型堅型NATM工法等に関する技術開発が行われ、袖ヶ浦基地で容量13~14万KLのLNG地下式貯槽が、1995年には根岸基地で世界最大容量の20万KL LNG地下式貯槽が建設された。そして、2003年8月には、側壁と底版を剛構造とし、LNG地下式貯槽のもつ信頼性、安全性に加え経済性をさらに向上させた新世代（第三世代）の地下式貯槽が完成した。

関東地区で発展を遂げたLNG地下式貯槽は、その後、新港基地（仙台）、袖師基地（清水）、知多緑浜基地、長崎基地等日本各地で建設されるようになった。一方、LNG基地の立地については近年厳しさを増しており、立地環境においては、近隣火災、飛来物に対する高い安全性を有するとともに景観にさらに配慮したLNG貯槽設備として、屋根をコンク

リート製とし貯槽設備全体を地盤面下に埋設し、さらに屋根上部に植栽による緑化を施した LNG 地下式貯槽の開発が必要とされていた。

### 第 3 章 厳しい立地環境に建設する LNG 貯槽の開発への課題

第 3 章では、厳しい立地環境に建設する LNG 貯槽の開発への課題について論じ、本研究の意義を明確にした。

屋根も含め貯槽全体を地盤面下に埋設し、さらに屋根上部に植栽による緑化を施した LNG 地下式貯槽を開発するためには、コンクリート製屋根型式 LNG 地下式貯槽の建設および植栽緑化に関する技術的な課題を抽出する必要がある。コンクリート製屋根型式の LNG 地下式貯槽は、LNG 地下式貯槽指針（日本ガス協会）には設計手法が示されていない新しい概念の貯槽形式であるため、最初に本型式の地下式貯槽の定義および基本構造を明確にした。次に、現状の LNG 地下式貯槽における建設技術のレベルを考慮し、コンクリート製屋根型式 LNG 地下式貯槽の建設における課題として、低ライズのコンクリート製ドーム屋根に関する設計技術と構築技術の提案を設定した。

LNG 基地には環境保全の観点から緑地の確保が義務付けられており、屋根上部の地盤面を除く地下式貯槽外周の盛土法面等には既に植栽による緑化が施されている。これら植栽用の基盤としては購入客土が用いられているが、緑化工事に関わるコスト削減を図ることを目的として、地下式貯槽の建設に伴い発生する掘削土を植栽基盤へ有効利用するための土質改良技術の開発を 3 番目の課題として設定した。

### 第 4 章 低ライズのコンクリート製ドーム屋根に関する設計技術

第 4 章では、低ライズのコンクリート製ドーム屋根に関する設計技術として、ドーム屋根の構造安定性に関する照査方法について論じた。

コンクリート製ドーム屋根は、原子力格納容器、水道用タンク、LNG 貯槽等円筒形容器において多数の実績がある。埋設式地下式貯槽のドーム屋根においては、ドーム屋根が扁平になればなるほど貯槽全体の床付けレベルが浅くなり、工費低減および工程短縮が図れるが、座屈に対する構造安定性は小さくなる。覆土のないコンクリート製ドーム屋根については、ACI344 R-70 においてライズ・スパン比（ドーム屋根の高さ〔H〕を直径〔D〕で除した値）を  $1/6 \sim 1/10$  と規定し、座屈に対する安定性を確保している。このため、埋設式地下式貯槽を対象としたライズ・スパン比  $1/10$  以下のコンクリート製ドーム屋根に対する構造安定性照査方法を提案する必要があった。

ライズ・スパン比を  $1/16$  としたコンクリート製ドーム屋根を対象に  $1/20$  縮尺モデルの模型破壊実験を実施し、材料の非線形性を考慮した幾何学的非線形解析による構造安定性照査方法の妥当性を評価した。さらに、実験および非線形解析結果と既存の解析手法、各種規準による照査結果と比較するとともにそれぞれの方法を総合的に評価し、低ライズコンクリート製ドーム屋根の構造安定性に関する照査方法を提案した。

## 第5章 低ライズのコンクリート製ドーム屋根に関する構築技術

第5章では、低ライズのコンクリート製ドーム屋根に関する構築技術として、仮設鋼製屋根を底型枠としコンクリート打設時の荷重を空気圧で支持するエアサポート工法によりコンクリート製ドーム屋根を合理的に構築する方法について論じた。コンクリート製ドーム屋根構築技術として、トラス支保工、コンクリート製屋根のリフトアップ工法およびエアサポート工法があるが、直径60~70m規模の大容量地下式貯槽においてはエアサポート工法が最も経済性に優れた構築方法である。仮設鋼製屋根の仕様を決定する要因であるエアサポート圧、コンクリート打設方法（打設順序・打設層数）をパラメータとした仮設屋根の座屈安定解析を実施するとともに、解析結果を基にした仮設鋼製屋根の仕様検討を行い、仮設鋼製屋根の鋼材量を合理的にするためのエアサポート圧力およびコンクリート打設方法を提案した。

## 第6章 掘削土の植栽基盤への有効利用

第6章では、地下式貯槽の建設に伴い発生する掘削土を植栽基盤等に有効利用するために開発したパーライト土質改良工法と本工法の土質改良効果または植栽基盤としての土壌改良効果について論じた。パーライトと高含水比の粘性土を混合させた試料を用いた室内土質試験および現地発生土を利用した実機混合プラント試験を実施した。その結果、パーライト土質改良工法が原土のpHを変化させない環境に優しい土質改良工法であるとともに、原土に対してパーライトの混合割合を増加させるに従い、締め固め特性、コーン指数、一軸圧縮強度等力学的性質の向上、および植栽基盤として必要な有効水分保持量、飽和透水係数、三相分布等物理的性質の向上を図れることが明らかになった。さらに、パーライト土質改良工法を適用して埋設式地下式貯槽から発生した掘削土約2万m<sup>3</sup>を植栽基盤として有効利用したことを述べた。

## 第7章 結論

第7章では、本論文の各章の要旨をまとめ、結論とした。

# 審査結果の要旨

## 1. 論文の評価

本論文は、近隣火災、飛来物、さらには景観への配慮など、厳しい立地環境に対応したLNG地下式貯槽の設計および建設に関して、屋根をコンクリート製とし、屋根上部に植栽による緑化を施す新しい技術を構築するために行った、

- (1) 低ライズのコンクリート製ドーム屋根の設計技術の確立
- (2) 仮設鋼製屋根を底型枠とし、コンクリート打設時の荷重を空気圧で支持するエアサポート工法によりコンクリート製ドーム屋根を合理的に構築する方法の開発

(3) 地下式貯槽の建設に伴い発生する掘削土を、植栽基盤等に有効利用するためのパーライト土質改良工法の開発

の内容を取りまとめたものである。

これらの技術を実際に用いることによって、容量 20 万キロリットルの埋設式地下式貯槽の経済的な設計および建設に大きく貢献した。また、この技術は、今後のこの種の施設の設計・建設の合理化に大きな発展をもたらすものである。

よって、博士（工学）の学位論文請求論文として合格と認められる。

以下に、論文の内容を簡単に記す。

(1) 低ライズのコンクリート製ドーム屋根の構造安定性に関する照査方法を構築するモデルの模型破壊実験、および材料の非線形性を考慮した幾何学的非線形解析と各種規準による構造安定性に関する照査を実施した。得られた知見に基づいて、非線形特性を考慮した幾何学的非線形解析による構造安定性照査方法を構築し、その方法によって、実構造物の設計を実施した。

(2) 仮設鋼製屋根を底型枠とし、コンクリート打設時の荷重を空気圧で支持するエアースポート工法を開発するため、エアースポート圧力とコンクリート打設方法をパラメータとした仮設鋼製屋根の座屈安定性に関するシミュレーション解析を実施した。得られた知見に基づいて、コンクリートの合理的な打設方法、特に経済的な打設層数を決定する方法を構築した。この方法で実際のコンクリート製ドームを構築し、その経済性を実証した。

(3) 「掘削土の植栽基盤への有効利用技術」を開発するため、パーライトと高含水の均質な粘性土を混合させた試料を用いた室内混合試験および現地発生土を利用した実機プラント混合試験を実施した。混合土の土質改良効果と植栽基盤材としての土壌改良効果を評価して得られた知見に基づいて、掘削土を植栽基盤へ有効利用する技術を構築した。その成果を、約 2 万 m<sup>3</sup>の掘削土を植栽基盤として有効利用する緑化工事に適用し、約 30%のコスト削減を実現した。

## 2. 審査の経過と結果

(1) 平成 15 年 7 月 9 日

博士後期課程委員会で学位論文の受理を決定し、5 名がその審査委員として指名された。

(2) 平成 15 年 8 月 28 日

公開論文発表会及び最終試験を実施した。

(3) 平成 15 年 9 月 3 日

博士後期課程委員会で学位授与を可とし、大学運営委員会で承認された。

	おおひがし まさひろ
氏 名 (本籍)	大東 将啓 (大阪府)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	甲第25号
学位授与年月日	平成15年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻名	工学研究科・基盤工学専攻
学位論文題目	第二創業としての新市場進出とそのリスク・マネジメント 中国における「Image Golf School」の展開 Marketing and risk management for second-foundation - Study for introduction of the Image Golf School in China -
論文審査委員	(主査) 高知工科大学 教授 馬場 敬三 高知工科大学 教授 長尾 高明 高知工科大学 教授 富澤 治 高知工科大学 教授 加納 剛太 高知工科大学 教授 阿部 俊明

## 論文内容の要旨

近年、先進諸国における経済成長の減速の中、日本は長引いている不況に見舞われている。一方、経済の国際化が加速しているなか、中国は世界の工場から世界の市場へのなりつつある。このような時代の流れに順応し、世界経済秩序の変化をチャンスに、第二創業をよりグローバル的模索しようという考え方を基に、筆者は2000年9月から高知工科大学起業家コースにて第二創業をテーマとして研究を行ってきた。そして、3年間の研究と自らの実践を基に、本論文を完成した。そして、論文内容の要旨は以下の通りである。

### 研究の目的：

筆者はアドバンス開発株式会社という住宅展示場の運営会社を経営していると同時に、ゴルフティーチングプロとして、ゴルフ練習場の経営にも携わってきた。しかし、日本の住宅産業とゴルフ産業は長期不況によるダメージは大きい。筆者は本業のコンサルティングサービス業とゴルフ産業から蓄積した経験に、起業家コースでの研究を加えて「Image Golf School」の中国での展開をビジネスモデル化することを本論文の目的としている。現在までに中国に進出した企業数は数多く存在する。大企業に留まらず中小零細企業に至るまで、その数は統計上の数字に表れないところに至るまで存在すると考えられる。しかし、欧米企業と違って、市場としての中国に対する認識が薄く、その多くは、いわゆる『ユ

ニクロモデル』と言われるところの安い労働力を生かした生産工場としての位置付けがほとんどである。

本論文では、市場としての中国を重要視し、中国における産業高度化の進展にあわせて、サービスシステム、管理システムの輸出を内容とするサポートマネジメント業の中国での創立を研究テーマにしている。これによって、一方、今までの『ユニクロモデル』以降の新しい形での中国進出モデルの可能性を追求する。さらに、中国でゴルフ市場を研究分析し、上海でのゴルフスクールビジネス実践を通じて、社会主義市場経済下でのサービス産業のあり方を提言する。他方、日本国内で斜陽産業化してきた住宅産業に従事して、企業存続のための残された選択としての第二創業を研究実践することが、高知工科大学起業家コースの果実であると考え。また、中国沿岸地域の地方政府自治区の多くは、税金特例等の各々の優遇事例を提示して、外資の投資、工場誘致や合併事業等に熱心である。しかし奮騰する中国経済とは裏腹に、事業に失敗して撤退を余儀なくした企業の例も枚挙に遑がない。本論文では、中国進出の成功例と失敗例を検証して、その違いを分析してリスク管理手法を提言する。これにより今後の中国進出企業への助けとなるものと期待できよう。

#### 研究の視角：

本論文は以下の 3 つの視角から分析を行っている。第一は、第二創業による事業推進の理論とリスク・マネジメント理論の視角である。経済のサイクルが大きく短くなった現代では、起業よりも、第二創業による事業の推進効果が注目されてきた。本論文はまずこの第二創業とリスク・マネジメント理論の発展の視角から、「Image Golf School」の中国での展開の可能性を理論的に検討する。第二は、新市場としての中国におけるゴルフ産業化の可能性の視角である。ゴルフ産業化の理論と世界ゴルフ産業発展の歴史を根拠に、中国におけるゴルフ産業化の条件を検討し、さらにゴルフスクールの展開の可能性と必要性を究明する。第三は、ケーススタディーとして、「Image Golf School」というビジネスモデルの視角である。筆者はコンサルティングサービス業とゴルフスクール産業での実践を基に、「Image Golf School」の構想を形成し、その実態も完成させている。最後に、それを中国の事情に適應できるようなモデルまで完成させる。

#### 研究の独創性と意義：

筆者は 20 年にわたり米国でのゴルフスクールビジネスを研究してきた。米国プロゴルフ協会 (Professional Golfers' Association of America) のビジネスプログラムに幾度となく参加してきた。また Teaching & Coaching Summit にも参加した。米国ゴルフ財団主催の Teaching & Coaching Seminar では、日本人ティーチングプロの参加者のためにコーディネーターとして通訳を担当してきた。また米国を中心としたゴルフスクールビジネスを取りまとめたものを、日本の市場に導入してきた経緯がある。そして、社団法人全日本練習場連盟の指導委員長として指導者を教育する仕事をしてきた。これらの研究と経験は本研究の独創性をもたらした。

筆者は、1987 年の日本ゴルフ学会発足当時からその設立にかかわり、研究発表も重ねてきた。ゴルフスクールビジネスに関する研究は、技術研究に比べて数少ない。その意味で

は、ゴルフ界に於いてスポーツ経営学の持つ意味は大きく、今後の研究が必要とされている。特に中国市場に対してのゴルフ産業論に関する研究は皆無に等しい。本論文では、中国語のゴルフ専門誌や雑誌も含めて文献研究も重ねてきた。また中国ゴルフ協会の秘書長である崔志強氏をはじめ、世界最大のゴルフ規模を誇るミッションインゴルフクラブの会員部主任の方孝元氏、上海大都会ゴルフ倶楽部の総経理である王亜明女史、広告代理店 BBDO の上海支店マネージャーの除振仲氏と黄健氏、中国人女子プロ第一号者の葉莉英女史、男子プロの朱プロ、上海光明ゴルフ倶楽部の総裁である段康滋氏、総経理の原田行氏、上海太陽島国際ゴルフ倶楽部の副総経理である張玉英氏他、多くの人々からインタビューをすることができ、その内容が本研究の独自の実証資料となっている。

また、米国のゴルフスクールビジネスについても、トップ 100 ティーチングプロを中心としたプロ達にインタビューを実施してきた。それら有名なティーチングプロから学んだものを体系化して研究してきたものは、すべて独自の試みである。

### 論文の構成と内容：

本論文は 8 章から構成される。具体的に以下の通りである。

**第 1 章**は研究の背景、目的、意義と概要を説明したものである。

**第 2 章**は第二創業による事業推進の理論である。この章では、現代の起業形態の発展と日本における起業実態を研究し、その特徴から第二創業の台頭の必然性を明らかにしていく。さらに、第二創業による事業推進の理論的根拠とその優位性を、理論分析の展開と実例による実証の展開といった二つの側面から究明していく。

**第 3 章**は第二創業における危機管理とリスク・マネジメントの理論である。この章において企業における危機管理理論とリスク・マネジメントの理論を基づき、新しい経営環境の中で第二創業におけるリスクの発生と特徴を究明し、そのヘッジの方法を模索していく。

第 2、3 章の理論をもとに、第 4 章から異分野・新市場進出による第二創業の事例考察を行う。

**第 4 章**は現実における第二創業の必要性に関する検討を重点としている。この章において、本業としての住宅展示場事業を事例として、その変遷と現状についての分析を通じて、現状の厳しさを明らかにし、現実的に第二創業の必要性を明らかにしたい。

**第 5 章**は異分野としてのゴルフ事業をテーマに、ゴルフ産業発展の歴史及び日本ゴルフ産業の現状についての分析を通じて、ゴルフ産業の行方を追及し、中国への進出の意義を解明していく。

**第 6 章**は新市場としての中国についての考察を内容とする。中国の改革開放の推移と現状についての検討を通して、その特徴を明らかにし、第二創業の拠点として選択する根拠を見出す。

**第 7 章**において、中国におけるスポーツ政策の変遷による中国ゴルフ発展とゴルフ産業化の歩みを分析し、その発展の前景を予測し、本論文の結論としての「Image Golf School」導入の可能性、必要性とその適応性を見出て行く。

**第 8 章**は「Image Golf School」構想の形成過程と沿革を説明し、中国での適応性を検討し、「Image Golf School」の中国展開による第二創業ビジネスモデルを具体化する内容とな

っている。

### 本論文の結論：

本論文において、明らかにしたことは、以下の3点にまとめる。

以上第1章から第8章まで、第二創業としての「Image Golf School」が中国における展開を、第二創業の理論研究と事例考察の二つの側面から分析を行ってきた。ここでは、全文を総括して、明らかになってことを以下の三点にまとめる。

第一に、第二創業による事業推進の理論及び第二創業におけるリスク・マネジメントの理論についての研究を通して、第二創業が企業を存続させ、活性化するための有効手段であることが明らかになった。

起業論やベンチャーリングに関する理論の先行研究や第二創業の成功事例から、第二創業によって、経営の自由度を向上させ、事業の複合化によるビジネスチャンスの拡大及び多角化の派生效果などの第二創業による事業促進の優位性が証明できる。それと同時に、第二創業の成功要因として、資本集約度が低く且つ成長産業への参入、技術ノウハウの保有、競争相手と差別化された商品の扱いなどが明確である。こういった成功要因を取り揃えることが第二創業の成功率を高くする。それと同時に、第二創業が企業経営過程における一種のリスクヘッジ手段である当時に、第二創業に独特のリスクも存在するため、そのリスク・マネジメントも必要である。

第二に、「Image Golf School」の中国における展開の事例研究を通じて、第二創業として、スポーツコンサルティングサービス事業としての「Image Golf School」が新市場の中国への進出の可能性と実行性を論証した。

長引く日本経済の不況のなかで、特に日本住宅産業の落ち込みを背景に、筆者の本業である住宅展示場事業は非常に厳しい局面を迎えている。対策として、筆者のゴルフティーチングプロとしての経験や技術ノウハウを生かし、IT技術を活用する新型ゴルフスクールを構想した。一方、経済が世界規模で動いている現在、第二創業の拠点も必ずしも日本国内に限ることはない。むしろ、ここ十数年間に飛躍的な経済成長を遂げてきた中国にはその市場がある。急速に発展している中国において、スポーツの産業化が急速に進んでいるにつれて、ゴルフ産業化も動き出したところである。そのなかで、中国のゴルフ産業化によって、スポーツコンサルティングサービスに対するニーズは非常に大きい。このような事情はまさしく「Image Golf School」の市場を生み出している。このような成長産業である中国スポーツサービス産業への進出は市場の面からみて成功率が高い。

第三に、第二創業としての「Image Golf School」のモデルはシステム・ソフトの輸出モデルである。日本は中国への進出において、物づくりを行うことによるコストダウン型の「ユニクロ型」が主流であった。しかし、現在「もの」の交流（物の輸出や現地生産）より、日本企業のノウハウの活用による「こと」の交流への方向転換が、今後中国と日本のビジネス交流の方向性である。その代表的なものとしてコンサルティングサービスやスクールの展開などの市場がある。「Image Golf School」はまさしく、日本のゴルフスクールのノウハウ、日本のコンサルティングサービスのノウハウを活かし、ゴルフ技術をゴルファーに教えるだけでなく、スポーツライフスタイルの提供も行う総合的なシステムの輸出



である。当然、国際経営上の視点として、文化や商慣習等の違いからビジネスモデルの修正を余儀なくされることもあると思われる。この論文の中で見てきた第二創業の実例からも実証されたように、絶え間ないイノベーションを企業活動のなかで実行していくことも非常に重要であると考えられる。

この「Image Golf School」の事例研究が今後の日本企業存続の一スタイルの提案となることを期待している。

## 審査結果の要旨

### 1. 論文の評価

本論分は平成不況とバブル経済の破綻の二重苦からの脱出を目指す、関西の中小企業の新事業戦略を分析、検討したものである。事業新戦略の策定には常にリスクを伴う。この中小企業は元の事業ドメインが住宅関連、ゴルフ関連事業であり、国内においては大きな発展を期待できない。この中小企業の事業継承を受けた現社長である申請者はこの現状の打開のために第二創業で新規事業を行うことを意図した。

第二創業による新規事業は具体的には現社長が従前から持っていたゴルフのティーチング・プロの資格を基に、日本でも試的に実施していたゴルフスクール事業を拡大し、同時にこのゴルフ事業 “Image Golf School”を中国で行うものである。

この “Image Golf School”のシステムは申請者が独自に、米国における経験を通して開発したものである。

このシステムの事業を中国で行うことについて、新規事業進出の問題。新市場開発の問題、文化の相違による経営の課題等に関し、其の処理、また、ビジネスモデル策定から予測される各種のリスクの分析、対処策としてのリスクヘッジを理論と実践上から論じたものである。

調査分析も一般的な理論を踏まえた上で、其れを越えた、独自の見解を打ち立てている。独創性と極めて新規な発想による論旨であり、起業家コースの「高度技術者」としての博士論文として十分に値するものと思料せられる。

### 2. 審査の経過と結果

- (1) 平成15年7月9日 博士後期課程委員会で学位論文の受理を決定し、5名がその審査委員として指名された。
- (2) 平成15年8月28日 公開論文発表会及び最終試験を実施した。
- (3) 平成15年9月3日 博士後期課程委員会で学位授与を可とし、大学運営委員会で承認された。