

氏名	やまもとひろし 山本宏
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2875号
学位授与の日付	平成20年1月23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	工学研究科機械物理工学専攻
学位論文題目	再生医療・細胞治療に用いる細胞培養施設の効率化を支援する機械装置・システムの開発
論文調査委員	(主査) 教授 堤 定美 教授 富田直秀 教授 井手 亜里

論文内容の要旨

本論文は、再生医療・細胞治療の普及への貢献を目指して、細胞培養施設であるセルプロセッシングセンター（CPC）の抱えている問題点（大きな初期投資、広い設置面積、膨大な維持費用）の解決手段の一つとして、CPCに替わる機械装置やCPCで使用される冷熱機器の省力化を支援するシステムを開発した内容について述べたものであり、総論、本論2編、総括から構成されている。

総論では、本研究の背景と目的について述べ、開発した機械装置・システムの概要について記述している。

第1編（第1章～第2章）では、CPCの機能を集約した小型の細胞操作システムを構成する3つのサブシステムの中で、「培養サンプルの自動搬送機能を備えた細胞培養システム」「顕微鏡自動観察システム」の2つのサブシステムについて詳細に述べている。

第1章では、培養サンプルが入った汎用的な培養容器を炭酸ガスインキュベータの内部で自動搬送するとともに外部とのアクセスも自動で行うことができる自動搬送ユニットを搭載した「培養サンプルの自動搬送機能を備えた細胞培養システム」の開発内容について述べている。潤滑剤と細胞を接触させた培養実験を通して、細胞に対する安全性を高めると同時に自動搬送ユニットの耐久性を高めた。本章は、細胞の安全性を確保するための三原則の一つ「人為的ミス防止」への対応可能性を検討している。

第2章では、細胞を培養する炭酸ガスインキュベータのチャンバ内の雰囲気である温度37℃、湿度95%以上という機械装置にとっては厳しい環境の中で安定に稼動する顕微鏡システムの開発により、多数の培養サンプルをチャンバから取り出すことなく細胞の培養状態を自動観察することを可能とした「顕微鏡自動観察システム」の開発内容について述べている。細胞の培養状態を炭酸ガスインキュベータから取り出すことなく自動観察することで、細胞の安全性を確保するための三原則の一つ「品質保証」への対応可能性を検討している。

第2編（第3章～第5章）では、CPCの消費電力低減を目指した冷熱機器の省力化設計において、配管系の最適設計を支援するための振動シミュレーションシステムについて述べている。

第3章では、CPCで消費する電力量の低減を目指して、空調機や培養・保存機器などの冷熱機器の省力化を図るための要素技術の一つとして、配管系の振動特性をコンピュータシミュレーション技術により評価する振動シミュレーションシステムを空調機を対象として開発した内容の概要について述べている。実際の冷熱機器の設計現場では、コンプレッサや冷媒の条件を変更する度に配管の形状を変更して試作実験により振動特性を評価する必要があるため、配管系の設計には多大な時間と労力を要しており、冷熱機器の最適設計の障害の一つとなっている。そこで、本論文では、配管系の実稼動時応答解析を行う振動シミュレーションシステムを構築し、配管系の設計の効率化を図った。

第4章では、配管系の振動シミュレーションを行うための3次元解析モデルの作成を効率化するために、配管2次元図面から3次元解析モデルを自動生成する機能について述べている。連続した1本のワイヤーフレームで構成された配管形状に

特化し、配管2次元図面から3次元形状モデルを自動作成した後、組立図面に基づいて複数の3次元形状モデルを自動アセンブリし、これを有限要素に自動分割することで配管系の3次元解析モデルの自動生成を可能とした。

第5章では、配管系の3次元解析モデルの形状的なモデル化精度を実物配管の伝達関数測定結果との比較によって検証し、さらに加振源の振動を測定して多点加振入力波形としてモデル化する入力条件設定手法を開発することで、配管系の振動シミュレーションモデルの精度を高め、シミュレーション結果を実測結果と比較して定性的に一致することを確認することで振動シミュレーションの精度を検証している。その結果、配管系の振動低減効果を試作実験に依存することなく、振動シミュレーションにより評価できる可能性があることを示唆した。また、本システムを用いて配管形状の変更の効果を振動シミュレーションにより検証して配管系の最適化設計を行った事例について述べることで、その有効性を示している。

総括では、本論文で得られた成果について要約し、今後の展開について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、細胞培養施設であるセルプロセッシングセンター（CPC）の抱えている問題点の解決手段の一つとして、CPCに替わる機械装置やCPCで使用される冷熱機器の省力化を支援するシステムを開発した内容について述べたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 培養容器を炭酸ガスインキュベータの内部で自動搬送するとともに外部とのアクセスも自動で行うことができる自動搬送ユニットを搭載した「培養サンプルの自動搬送機能を備えた細胞培養システム」を開発した。潤滑剤と細胞を接触させた培養実験を通して、細胞に対する安全性を高めると同時に自動搬送ユニットの耐久性を高めることが可能であることを示した。
2. 多数の培養容器をチャンバから取り出すことなく細胞の培養状態の自動観察が可能となる「顕微鏡自動観察システム」を開発した。光学系部品を防湿筐体によって、温度37℃、湿度95%以上という機械装置にとって厳しい培養環境から隔離することで、培養環境内において位相差顕微鏡を安定して稼働させることに成功した。
3. 配管2次元図面から3次元形状モデルへの自動変換の対象を連続した1本のワイヤフレームで構成された配管形状に特化し、特徴点抽出法という手法の考案により、2次元/3次元自動変換アルゴリズムを開発した。
4. 配管2次元図面に幾何形状の簡易作図というあいまいな表現が含まれていても、注記やコメント文、寸法値などの図面属性データの活用により正確に3次元形状モデルへ自動変換することが可能であることを示した。
5. 配管系の組立図面から抽出された配管端点の座標値や配管の向きを示すベクトルなどの情報に基づいて配管単体の3次元形状モデルを自動アセンブリすることが可能であることを示した。
6. 配管系の有限要素モデルから算出した伝達関数と実物配管の伝達関数測定結果との比較により、複雑な配管系全体がビーム要素及び集中質量要素を用いてモデル化可能であることを示した。
7. 強制変位波形を配管系の3次元解析モデルに入力して配管各部の振幅量を算出する実稼働時応答解析を行い、実測された振幅量との比較を通して精度よく解析されていることを実証した。この3次元解析モデルを用いることで、配管形状の変更により振動状態がどのように改善できるのかを振動シミュレーションにより検討し、配管系の設計の効率化を図った。

以上、要するに本論文は、CPCに替わる機械装置やCPCで使用される冷熱機器の省力化を支援するシステムに関して極めて有用性の高い技術を生み出したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年11月30日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。