

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 東條啓一郎

本論文は「1ビットデジタル信号処理を用いた制御に関する研究」と題し、音響の分野で音声の記録再生に、近年急速に利用が進んできている1ビットデジタル信号を自動制御に応用することを目的とし、制御系を構成するために必要である信号処理技術を確立し、機械の運動制御に適用しようという課題に取り組んだ研究成果を纏めたものである。

本論文は、全7章から構成されている。

第1章「はじめには」論では、本研究の背景と目的、および本論文の構成について述べている。1ビットデジタル信号処理の根幹をなす $\Delta\Sigma$ 変調 A/D、D/A 変換器が、通信・音響の分野で広く利用されてきていることを述べ、 $\Delta\Sigma$ 変調がなぜ音響の分野での音声の記録再生に優れているかを論じている。そして、 $\Delta\Sigma$ 変調は構造が簡単であり、次数とサンプリング周波数を上げることにより、分解能の向上を図ることができる特性を有していることを示し、制御にも利用できる可能性を論じている。

第2章「 $\Delta\Sigma$ 変調」では、 $\Delta\Sigma$ 変調の原理を説明し、 $\Delta\Sigma$ 変調の基本的な特性を明らかにしている。特に、 $\Delta\Sigma$ 変調による1ビット信号処理の量子化誤差が、サンプリング周波数を高くすることにより、低周波数領域ではマルチビットデジタル信号処理に比べて小さくすることができ、分解能が高いことを明らかにしている。この特性は静止位置の精度を最も重要視する位置決め制御等に適しており、従来のマルチビットデジタル信号処理では一般には実現することが困難であった高精度の制御を1ビット信号処理で比較的簡単に実現できる可能性があることをシミュレーションによって明確に示すことに成功している。

第3章「1ビットデジタル信号演算」では、制御系を構成するために必要となる、入力信号を1ビットデジタル信号とし、出力信号を1ビットデジタル信号とする加算・減算・乗算・微分・積分・増幅等の演算を如何に上手く設計し実現するかについて、詳細な検討を行っている。そして、各演算の演算分解能、演算器内部のビット幅についての設計指針を明確にしている。

第4章「ビットデジタル信号処理とマルチビットデジタル信号処理」で

は、1ビットデジタル信号処理を用いた制御系と従来のマルチビットデジタル信号処理を用いた制御系とについて性能等の比較を詳細に行っている。

そして、1ビットデジタル信号処理の方がマルチビットデジタル信号処理より、アナログ信号に近い制御ができることを明らかにしている。つまり、1ビットデジタル信号処理による制御系においては、低周波数域での高い分解能が得られ、一方、高周波数域では、分解能は低下するがマルチビットデジタル信号処理よりも応答性が優れていることを明確に示している。

第5章「ブラシレス DC モータの電流制御」では1ビットデジタル信号処理を実際の制御系を構成し、その有効性を調べるために、ブラシレス DC サーボモータの電流制御ループに1ビットデジタル信号処理を適用することを試みている。ブラシレス DC サーボモータの電流制御ループには、応答速度・分解能の高いことが要求されており、1ビットデジタル信号処理を応用することにより、デジタル信号処理でありながら、アナログ制御のように高速・高分解能な特性を示すことが期待できる。DC24V-10Wのブラシレス DC モータの電流制御を目的とするによる制御系を構成し、マルチビットデジタル信号による制御系と特性を比較することにより、低速時のトルクリップルの低減と応答速度の向上が得られることを実験により明らかにしており、1ビットデジタル信号制御の優秀性を実証している。

第6章「距離センサ」では1ビットデジタル信号処理を応用した、距離センサの開発に取り組んでいる。これは、位置決め制御において、位置のセンサー信号が1ビットデジタル信号で直接得られるセンサーの開発を目指したものである。波長650nmの半導体レーザを用いて、FMヘテロダイン干渉計の位相角検出に成功している。高分解能の位置センサーの実現に繋がる基盤を創ることが出来たと言える。

第7章は本論文の結論であり、本研究で得られた成果についての総括を行い、さらに今度の展望について述べている。本研究では、1ビットデジタル信号処理を利用した新しいデジタル制御の方式を提案し、その特性を明確にするとともにその有効性を実験により確認している。本研究のこれらの成果は制御工学ならびに精密機械工学の発展に大きく貢献するものと評価できる。また、本研究で試作したサーボモータの電流制御ループの優秀性に着目した企業がその商品化を開始するなど、産業の発展にも寄与している。

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。