

4年	科目	制御工学	講義	前期	担当	青木悠祐
電子制御工学科		Control Engineering	必修	2学修単位（講義60+自学自習30）		Yusuke Aoki
授業の概要						
制御とは「制し、御する」こと、すなわち動くモノを意図するように動かすことである。本講義では、「制御」に関する体系的な学問である制御理論の基礎において最も重要な概念である「フィードバック」の本質的利点について学習する。特に、種々の対象システムから、制御に関する特性を数学的モデルという形で抽出し、このモデルに基づいてシステムの挙動を解析し、制御系の設計理論を組み立てることを主眼に置く。中でも、1入力1出力システムの伝達関数表現に基づいて古典制御の枠組で扱われてきたフィードバック制御系の解析と設計に関する内容を中心に進める。						
本校学習・教育目標(本科のみ)	○	目標	説明			
		1	技術者の社会的役割と責任を自覚する態度			
		2	自然科学の成果を社会の要請に応じて応用する能力			
		3	工学技術の専門的知識を創造的に活用する能力			
		4	豊かな国際感覚とコミュニケーション能力			
		5	実践的技術者として計画的に自己研鑽を継続する姿勢			
プログラム学習・教育目標 (プログラム対象科目のみ)		実践指針 (プログラム対象科目のみ)		実践指針のレベル (プログラム対象科目のみ)		
C. 工学的な解析・分析力及びこれらを創造的に統合する能力		(C1) 機械工学、電気電子工学、情報工学、応用化学、生物工学、材料工学などの専門的技術を身につけ、これらの技術を複合的に活用して、環境エネルギー工学、新機能材料工学、医療福祉機器開発工学等の分野に創造的に応用することができる。		(C1-3)機械工学、電気電子工学、情報工学、応用化学、生物工学、材料工学のいずれかの課題に、修得した専門知識を応用できる。		
授業目標						
(1)制御系の標準的構成を理解し、フィードバック制御の利点について事例を挙げて説明できる。また、制御工学に関する用語を英語に変換できる (2)ダイナミカルシステムの伝達関数表現を理解し、結合法則と等価変換を用いてブロック線図を簡単化することができる (3)ラプラス変換を応用して、時不変線形システムの時間応答を求めることができる (4)システムの過渡応答特性を理解し、極の位置との関係について説明できる。また、システムの安定性の概念を理解し、ラウス・フルビッツの方法により系が安定であるための必要十分条件を導くことができる (5)フィードバック制御系の感度特性・定常特性について説明できる (6)システムの周波数応答を理解し、ベクトル軌跡・ボード線図を描くことができる (7)フィードバック系の内部安定性の概念を理解し、ナイキスト線図を描いて系の安定性を判別することができる。また安定余裕の概念を説明できる (8)PID補償器および位相進み-遅れ補償器を用いて、設計仕様を満たすフィードバック制御系を設計できる						
授業計画						
第1回	授業ガイダンス	授業概要・目標、制御の分類、フィードバック制御系の基本構成				
第2回	ダイナミカルシステムの表現	静的・動的システム、線形システム、重ね合わせの原理、線形化、伝達関数				
第3回	ラプラス変換	ラプラス変換の定義				
第4回	ラプラス変換	演習				
第5回	制御系の表現	ブロック線図、比例・積分・微分要素、むだ時間、1次遅れ、2次遅れ				
第6回	制御系の表現	ブロック線図の結合法則、等価交換、簡単化				
第7回	時間応答	インパルス応答、1次系の過渡応答				
第8回	時間応答	2次系の過渡応答				
第9回	システムの安定性	過渡応答、極・零点				
第10回	システムの安定性	安定性、ラウスの安定判別法				
第11回	システムの安定性	フルビッツの安定判別法				
第12回	フィードバック制御系の特性	感度、感度関数				
第13回	フィードバック制御系の特性	開ループ伝達関数、定常偏差				
第14回	制御系の特性	演習				
第15回	中間試験					
第16回	フィードバック制御系の安定性	根軌跡				
第17回	周波数応答	周波数応答と伝達関数				
第18回	周波数応答	ベクトル軌跡				
第19回	周波数応答	ボード線図				
第20回	周波数応答	演習				
第21回	フィードバック制御系の安定性	フィードバック系の内部安定性				
第22回	フィードバック制御系の安定性	ナイキストの安定判別法				
第23回	フィードバック制御系の安定性	ゲイン余裕、位相余裕				
第24回	フィードバック制御系の安定性	演習				
第25回	制御系のロバスト性解析	不確かさとロバスト性				
第26回	制御系のロバスト性解析	ロバスト安定性				
第27回	フィードバック制御系の設計法	設計手順と性能評価、PID補償				
第28回	フィードバック制御系の設計法	位相進み-遅れ補償				
第29回	フィードバック制御系の設計法	演習				
	期末試験					
第30回	総合演習	制御系設計				
第31回	総合演習	制御系設計				
評価方法と基準	評価方法： 授業目標に示す項目(1)～(7)について、以下の(a),(b)によって達成度を確認する (a) 次に示す3つの観点から各項目に関する設問を出題し、全ての項目において6割以上の正解をもって達成とみなす。未達成の項目に関しては追加課題を課し、ノート提出によって達成とみなす。 ・定期試験において、専門用語の意味を正確に理解しているか ・問題の意味を正確に把握し、適切な解法を選択することができるか ・正解を導くための計算力が定着しているか (b) 課題ノート検査を通して、問題の意味を理解し、適切な方法で解決できるか、問題を解くにあたって必要な理論的根拠および専門的知識が説明されているか、解答までの数学的計算が正しいか、を点検する 授業目標(6)(7)(8)(C1-3)については、学期末に総合演習のレポートを課す。これをA,B,C,D,Eの5段階で評価し、C以上ならば達成とする。未達成の場合は、達成できるまで再提出を求める。 評価基準： 中間試験35%、期末試験35%、総合演習レポート15%、ノート検査15%					
教科書等	フィードバック制御入門、杉江俊治・藤田政之著、コロナ社、1999					
備考	1.試験や課題レポート等は、JABEE、大学評価・学位授与機構、文部科学省の教育実施検査に使用することがあります。 2.授業参観される教員は当該授業が行われる少なくとも1週間前に教科目担当教員へ連絡してください。					

「制御工学」の成績評価基準表

A: 定期試験	学籍番号	
B: 課題レポート	氏名	
C: その他(ノート検査)		

授業目標	到達基準			評価割合(100%)		
	未到達基準	標準基準	優秀基準	A	B	C
				70%	15%	15%
1. 制御系の標準的構成を理解し、フィードバック制御の利点について実例を挙げて説明できる。また、制御工学に関する用語を英語にすることができる	☐ フィードバック制御系とフィードフォワード制御系の例を挙げることができない。 ☐ 身近な例をブロック線図にすることができない。 ☐ 制御工学に関する用語を英語にすることができない	☐ フィードバック制御系とフィードフォワード制御系の例を挙げることができる。 ☐ 身近な例をブロック線図にすることができる。 ☐ 制御工学に関する用語を英語にすることができる	☐ フィードバック制御系とフィードフォワード制御系の例を挙げることができる。更に、それぞれの利点欠点を述べることができる。 ☐ 身近な例をブロック線図にすることができる。それに加えて、ブロック線図を変形させて表現することができる。 ☐ 制御工学に関する用語を英語にすることができる	10		3
2. ダイナミカルシステムの伝達関数表現を理解し、結合法則と等価変換を用いてブロック線図を簡単化することができる	☐ ブロック線図の結合ができない ☐ ブロック線図の等価変換ができない ☐ ブロック線図を簡単化して、閉ループ伝達関数を求めることができない。	☐ ブロック線図の結合ができる ☐ ブロック線図の等価変換ができる ☐ ブロック線図を簡単化して、閉ループ伝達関数を求めることができる。	☐ ブロック線図の結合・等価変換を用いて、フィードフォワード、フィードバックを含むブロック線図の閉ループ伝達関数を求めることができる。	10		3
3. ラプラス変換を応用して、時不変線形システムの時間応答を求めることができる	☐ システムの線形/非線形を判断できない ☐ システムの時変/時不変を判断できない ☐ インパルス応答を求めることができない ☐ ステップ応答を求めることができない ☐ 逆ラプラス変換を求めることができない	☐ システムの線形/非線形を判断できる ☐ システムの時変/時不変を判断できる ☐ インパルス応答を求めることができる ☐ ステップ応答を求めることができる ☐ 逆ラプラス変換を求めることができる	☐ システムの線形/非線形を判断でき、数式を用いて証明することができる ☐ システムの時変/時不変を判断でき、数式を用いて証明することができる ☐ インパルス応答・ステップ応答を求めることができ、その情報をもとに伝達関数を求めることができる ☐ 逆ラプラス変換を求めることができる ☐ 畳み込みのラプラス変換を証明することができる	10		3
4. システムの過渡応答特性を理解し、極の位置との関係について説明できる。また、システムの安定性の概念を理解し、ラウス・フルビッツの方法により系が安定であるための必要十分条件を導くことができる	☐ 伝達関数の根軌跡を描くことができない ☐ フィードバック制御系が安定となるコンローラの範囲をラウス・フルビッツの安定判別法により求めることができない	☐ 伝達関数の根軌跡を描くことができる ☐ フィードバック制御系が安定となるコンローラの範囲をラウス・フルビッツの安定判別法により求めることができる	☐ 漸近角、漸近線の実軸交点、軌跡の分離点、複素極からの進出角、虚軸との交点をもとに、一巡伝達関数の根軌跡を描くことができる ☐ フィードバック制御系が安定となるコンローラの範囲をラウス・フルビッツの安定判別法により求めることができる。また、ラウス配列において計算を進めることができない際に、補助多項式を用いて求めることができる。	10		3
5. フィードバック制御系の感度特性・定常特性について説明できる	☐ 制御対象とコンローラが与えられた際に感度関数を求めることができない ☐ 伝達関数・入力が与えられた際に、定常位置偏差および定常値を求めることができない	☐ 制御対象とコンローラが与えられた際に感度関数を求めることができる ☐ 伝達関数・入力が与えられた際に、定常位置偏差および定常値を求めることができる	☐ 制御対象とコンローラが与えられた際に感度関数を求めることができる ☐ 制御パラメータと感度の関係を考察することができる ☐ 伝達関数・入力が与えられた際に、定常位置偏差および定常値を求めることができる	10		3
6. システムの周波数応答を理解し、ベクトル軌跡・ボード線図を描くことができる(C1-3)	☐ ベクトル軌跡を描くことができない ☐ ボード線図を描くことができない ☐ ボード線図からゲイン余裕、位相余裕を読み取ることができない	☐ 1次系のベクトル軌跡を描くことができる ☐ 1次系のボード線図を描くことができる ☐ 伝達関数・入力が与えられた際に、定常位置偏差および定常値を求めることができる	☐ 2次系のベクトル軌跡を描くことができる ☐ 2次系のボード線図を描くことができる ☐ ボード線図からゲイン余裕、位相余裕を読み取ることができる ☐ ベクトル軌跡とボード線図の違いを説明することができる	10	5	
7. フィードバック系の内部安定性の概念を理解し、ナイキスト線図を描いて系の安定性を判別することができる。(C1-3)	☐ ナイキスト線図を描くことができない ☐ ナイキスト線図から制御系の安定判別ができない	☐ ナイキスト線図を描くことができる ☐ ナイキスト線図から制御系の安定判別ができる	☐ 伝達関数のゲイン、位相差を求め、それをもとにナイキスト線図を描くことができる ☐ ナイキスト線図から制御系の安定判別ができる ☐ 安定余裕の概念を説明できる	10	5	
8. PID補償器および位相進み-遅れ補償器を用いて、設計仕様を満たすフィードバック制御系を設計できる(C1-3)	☐ MATLAB等を用いて、制御対象のインパルス応答、ステップ応答をグラフ化できない ☐ MATLAB等を用いて、ボード線図、ナイキスト軌跡を描くことができない ☐ PID補償器、位相進み-遅れ補償器等、補償器を用いて、入力に対する応答を改善することができない	☐ MATLAB等を用いて、制御対象のインパルス応答、ステップ応答をグラフ化できる ☐ MATLAB等を用いて、ボード線図、ナイキスト軌跡を描くことができる ☐ PID補償器、位相進み-遅れ補償器等、補償器を用いて、入力に対する応答を改善することができる	☐ MATLAB等を用いて、制御対象のインパルス応答、ステップ応答をグラフ化できる。また、制御対象の変化による影響を考察できる ☐ MATLAB等を用いて、ボード線図、ナイキスト軌跡を描くことができる。また、ゲイン余裕・位相余裕を読み取ることができる。 ☐ PID補償器、位相進み-遅れ補償器等、補償器を用いて、入力に対する応答を改善することができる。また、パラメータによる影響を考察することができる		5	
備考						