東京工業高等専門学校	開講年度	平成28年度 (2016年度)	授業科目	デジタル回路

科目基礎情報

科目番号	0003	科目区分	専門 / 必修
授業形態	授業	単位の種別と単位数	履修単位: 2
開設学科	電子工学科	対象学年	3
開設期	前期	週時間数	4
教科書/教材	オリジナルの配布物/指定の電子部品・配線材料		
担当教員	小池 清之,永井 翠		

到達目標

IoT時代の新たな価値創造はソフトウェアによってなされるが，そのソフトウェアが実行される母体がハードウェアであり，デジタル回路によって構成されている．このデジタル回路がどのように設計されどのような工程を経て実現されるかを習得することは，新時代のエレクトロニクス・エンジニアには必須の事柄である．本科目の到達目標は，デジタル回路の初歩的な範囲に限定して，設計に関する理論が使いこなせることと，それを適用した回路を実際に実現できるようになることである．

ルーブリック

	理想的な到達レベルの目安	標準的な到達レベルの目安	未到達レベルの目安
インタフェースの概念を理解し設計仕様に基づいた真理値表を作成することができる．	正しい表を作成するとともに，表の周辺情報や条件，定義等も記載している．	正しい表を作成できる．ミスの指摘を受けて正しく修正できる．	正しい表が作成できない．
真理値表からブール代数による数式を誘導できる．	与えられた問題全てについて正しい数式を誘導できる．	与えられた問題のうち正しい数式を誘導できたのが7割以上であり，ミスの指摘によりすべて正しく修正できる．	与えられた問題のうち正しい数式を誘導できたのが6割未満
数式のブール代数による簡単な変形ができる．	導出過程を文言で補いながら題意に沿った数式誘導ができる．	一つ一つの過程は正しい数式変形だが題意に沿った式が導けなかった．	正しい数式変形ができない．
論理を表す数式からその原理を表す回路図を作成することができる．	数式を正しく表現しているとともに，わかりやすい部品配置と配線描画ができる．	数式を正しく表現しているとともに，わかりやすい部品配置と配線描画ができる． 標準的な到達レベルの目安 数式を正しく表現した回路図が描ける．	数式との対応が誤った回路図となっている．
与えられた回路図の機能を数式で表すことができる．	与えられた問題全てについて正しい数式を誘導できる．	与えられた問題のうち正しい数式を誘導できたのが7割以上であり，ミスの指摘によりすべて正しく修正できる．	与えられた問題のうち正しい数式を誘導できたのが6割未満
与えられた数式に対する真理値表を作成できる．	与えられた問題全てについて正しい真理値表を作成できる．	与えられた問題のうち正しい真理値表を作成できたのが7割以上であり，ミスの指摘によりすべて正しく修正できる．	与えられた問題のうち正しい真理値表を作成できたのが6割未満．
入出力回路等周辺回路の動作を説明できる．	使用部品の特性も理解した上で回路を示すことができ，機能を説明できる．	回路を示して機能を説明できる．	正しい回路を示せない．あるいは機能を説明できない．
ロジックICを利用するための基本事項を説明できる．	論理値と電気信号の対応関係及びCMOSロジックICの電気的特性や入出力端子の注意点を項目を挙げ正しく説明できる．	項目が与えられれば個々の問題について基本事項を説明できる．	項目を個別に与えても基本事項を説明できない．
回路製作する上で制約がある場合に設計上の適切な工夫ができる．	限られた素子数での回路設計において，未使用素子の有効利用についてブール代数的な意味を把握し工夫ができる．	工夫回路の実例を知っていて適宜使用できる．	工夫できない．
原理を表す回路図を基にICを用いた製作のための回路図を作成することができる．	作るために必要な事項が正しく補われ，原理を表す主要な回路部分との関係が読み手にわかりやすく表現された回路図を書くことができる．	作るために必要な事項が抜けているが，ケアレスミスと認められる程度であり，ミスの指摘によりすべて正しく修正できる．	作るために必要な事項の補い方がわからない．
実体配線図，部品表，布線表を作成できる．	実際に作ることが想定された表現となっており，読み手にミスを犯させない配慮や有効な情報が記されている．	指定された手順に従って必要な情報が記述されている．	作成書類から必要な情報を読み取ることができない．
実体配線図を基に実際に回路を製作することができる．	与えられた製作課題全てについて忠実に回路を製作できる．製作時の修正は関連図面・書類を修正してから実施している．	与えられた製作課題のうち忠実に回路を製作できたのが7割以上であり，ミスの指摘によりすべて正しく製作できる．	与えられた製作課題のうち忠実に回路を製作できたのが6割未満
製作した回路の動作を確認し説明することができる．	同じ確認実験を再び再現できるような記述をしつつ，理論と照らし合わせながら確認実験を進めることができる．製作物についての口頭試問にすべて答えることができる．	指示された手順に沿って確認実験を進めることができる．製作物についての口頭試問はヒントがあればすべて答えることができる．	回路の動作が理解できず，自力で確認実験を進めることができない．
基本的な記憶回路の概要を説明できる．	授業で実習しながら学習した，二重否定の正帰還による論理保持，RS-FF，D-Latch，D-FFのそれぞれの回路について，それぞれの回路の目的と特徴，関連について説明できる．	RS-FF，D-Latch，D-FFのそれぞれの回路を指定されれば，その動作を説明できる．	D-FFの動作を説明できない．
同期式順序論理回路の概要を説明できる．	同期式順序論理回路の構成図を示し，それぞれのブロックの特徴と全体の動作の特徴が説明できる．どのようなものに応用されているかにも関心を持って答えられる．	同期式順序論理回路の構成図が与えられたとき，それぞれのブロックの名称が答えられる．全体の動作もヒントをもらいながら説明できる．	同期式順序論理回路の各部の役割が理解できない．

同期式順序論理回路のタイミングチャートを作成できる.	動作の記述という視点でタイミングチャートに記述すべき項目や入力パターンを考えることができる. その上で適切な表現のタイミングチャートが作成できる.	指定された項目や入力パターンに対して正しくタイミングチャートを作成することができる.	ヒントを与えてもタイミングチャートを作成することができない.

学科の到達目標項目との関係

教育方法等

概要	工学で学ぶ理論がどのように実社会で役立つのかを知るため，回路実現に関する技能習得にも力を入れ，実体験からのフィードバックにより理論設計の重要性が身に着くよう配慮している．学科が掲げる「ものづくりという視点を取り入れた技術者育成」および学校が掲げる「基本的なシステムの設計手法を理解し必要な仕様を満足した設計ができる技術者育成」の直接的かつ具体的な入門授業として位置づけられる.
授業の進め方・方法	毎回，授業の冒頭１０分間は前回の内容復習のための小テストを実施する．その小テストの解説を導入にしながら新しい部分の講義とそれを確認する事件の説明に８０分を充てる．休憩をはさんでホームルームから実験室に移動し，講義で習得した回路を実際に製作しその動作確認を行う．その内容についてノートにまとめ，教員からのノートチェックを受け講義のノートテイク，実験の記述の評価を受ける．またこの時，教員の前で自ら製作した回路の動作を演示実験し，簡単な口頭試問を受ける．これらをパスしたことの証明としてノートに日付の入った検印を押す.
注意点	本科目ではA4サイズのノートを用意すること．この授業では各人のノートは毎回行うノートチェックの答案用紙と位置付けられる．そのための指定である．ルーズリーフは認めない．散逸しない一綴りのノートを用意すること.

授業計画

		週	授業内容	週ごとの到達目標
前期	1stQ	1週	ガイダンスとして身近な事柄からデジタル回路の必要性について解説する．次のキーワードを含む．身の回りのエレクトロニクス，ハードウェアとソフトウェア，ハードウェアとデジタル回路，回路図は設計図，シリコンの上に集積，デジタルとアナログ，0と1だけの世界，二つに分けられなくても0と1にこだわる/桁を増やす，ビット，0と1を送る，ビットレート，0と1の世界の数学，AND/OR/NOT，真理値表，実は使っているAND/OR/NOT，因果関係/入力と出力/関数/真理値表，身の回りの論理の事例，こんなこともできる/誤り訂正の手品風演示	身の回りのエレクトロニクスがデジタル回路と密接に関わっていること，インタフェースの重要性，0と1だけで表現する工夫について説明できる.
		2週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説を通じてガイダンス内容の簡単な復習を行う．ノートの取り方，NOTを例にとり基本論理素子の学習方法，覚えるべきポイント/考えるべきポイントの区別について説明．製作のための基本的な知識としてICについて習得させる．次の項目を含む．デジタルICの種類とCMOS，電源が必要，1と0は電圧有無で表現，電圧基準はどこか，電圧の測り方，ICのピンコネクション，回路の書き方のバリエーション，VDDとGNDの表記．実習を通して，購入部品の検品，LEDの使い方と動作チェック，LEDの色と順方向電圧，電流の計算，電流と明るさ，電源表示灯の設置と効果について習得させる.	NOTを例に基本論理素子の学習方法が身についたことを実感できる．ICを使う上で注意すべき点を説明できる．LED表示器等の周辺回路を実際に使うことができる.
		3週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説を通じて1入力のNOTから2入力の素子へ話が展開することを説明する．ANDを例にとり2入力基本論理素子の学習方法を説明する．また，製作に必要な情報として，0と1の入力方法，プルアップ・プルダウン抵抗，LEDと抵抗による出力表示器について整理する．また回路図と実体配線図の用途と違いを説明する．製作実習では，NOT素子である74HC04の動作確認を通じて，電源の接続法，入出力回路の働き，空きピン処理の必要性について体験的に習得させる.	基本論理素子ANDに関する基本事項を理解している．0と1の入力方法，プルアップ・プルダウン抵抗，LEDと抵抗による出力表示器について説明できるとともに実際に製作もできる.
		4週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説をイントロダクションとして基本論理素子OR/NAND/NOR/XORに展開し，その基本事項を説明．CMOS ICの入出力端子の製作上の基本ルールとして，入力でやって良いこと悪いこと，出力でやって良いこと悪いこと，空きピンの処理，について電気的な理由とともに説明する．また，デジタル回路の設計から製作までの工程を説明し，その各工程は実社会では異なる人が担当することを理解させ，他者に情報を伝えるために図面・書類を書くことを習得させる．また，製作実習ではAND/OR/NAND/XOR/NORの動作確認として74HC08/32/00/86/02の検証回路を製作し，真理値表に従うかを調べさせる.	基本論理素子OR/NAND/XOR/NORの基本事項を理解している．CMOS ICの特徴を理解し，どのような注意を払うべきかを回路を作って実践的に示すことができる.
		5週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説に続き，2変数で表せるすべての関数を見渡し，デジタル回路で扱う論理関数の特徴について説明する．授業内の演習として2入力素子の片方の入力を0や1に固定することで得られる1入力素子の真理値表を作成させる．製作のための回路図作成，実体配線図作成の方法を説明する．製作実習では，課題として与えられた回路図をもとに，製作のための回路図作成，実体配線図作成を行う．そして自分で用意した実体配線図の通りに製作し，その動作を真理値表にまとめさせる. 宿題として次の課題を出す．2ビットの2進数に対応して自分の誕生日の数字を1文字ずつ4桁分，7セグメントLEDに表示させる回路を設計し，製作のための回路図と実体配線図を作成させる.	回路図が与えられたときにその特徴を表す真理値表を書くことができる．原理を示す回路図をもとに，製作のための回路図と実体配線図を作成できる．自分で用意した実体配線図の通りに製作できる.

		6週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説に続き，前回の製作課題と講義内容の復習を行い，その一部がブール代数の公式を回路的に実現したものだということを説明する．その上で他の有用な公式も紹介する．また製作実習では，宿題の2入力オリジナル7セグデコーダの製作実験を行う．設計した回路は図面と部品を他者に渡し他者に作ってもらう．他者が作ることを配慮できたかを自覚してもらう．	数式を変形することは回路の構成法を変えることであり，それを理解し目標を定めて数式変形することができる．回路図，実体配線図は自分がわかればよいというものではなく，他者に自分の意図が正しく伝わらなければ意味がないことを実感できる．
		7週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説に続き，2入力のAND/OR/XORを3入力に拡張する際の考え方を説明する．結合則と実際の回路を対比させながら説明する．2入力のNAND/NORを単純に組み合わせても3入力NAND/NORにはならないことを注意する．さらに多入力論理回路，多入力素子について考え方を説明し回路記号を示す．3入力の特徴的な回路として多数決論理，セレクタを説明する．製作実習では講義で学んだ3入力ANDについて調べるとともに，更に入出力の任意の端子にNOTが追加された場合の真理値表がどのようになるかを，回路製作を通じて理解させる．	入力数が増えても，臆することなく順を追って考えを拡張し，その動作を説明できる．実装時に役立つアイデアとしてXORを用いて反転・非反転を切り替える方法があることを理解し利用できる．
		8週	中間試験を実施する．	ここまで学んだ内容が自分の実力として身についていることを，時間制約のある中で問題を解けたことによって実感できる．
	2ndQ	9週	中間試験の結果を振り返ることでここまで学んだことを思い起こさせ，更に回路実装にどうつながるかを念押しする．特に，数式から回路へ，数式から真理値表へという相互関係について再度説明する．その先の概念として積和形式/和積形式，標準形，主加法標準形，主乗法標準形，万能演算系，完全系，というキーワードについて説明する．また，ブール代数の公式を使って数式を多種多様に変形できることを多数決論理の例で示す．数式変形が回路の論理圧縮につながっていることを納得させる．実習では，CMOS ICのアナログ的測定として入出力の電圧特性を測定する．CMOS ICの閾値付近の特性を実験的に理解させる．VDDを変えると閾値付近特性がどうなるかを体験的に習得させる．シュミット入力の素子も調べてさせる．グラフはノートに貼りいつでも参照できるようにする．宿題として，第5週の課題を3入力に拡張し，西暦を含んだ誕生日が表示できるオリジナル7セグデコーダの設計を課す．	主加法標準形，主乗法標準形について説明できる．ブール代数の公式を使って比較的簡単な数式変形ができる．NOTのアナログ的入出力特性を図示できる．
		10週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説に続き，ここまで学んだことを基にして加算器が構成できることとその意義を述べる．まずその準備として10進数/2進数/16進数，MSB/LSBついて説明し，10進数の足し算を復習する．その内容と対比させながら2進数の足し算を説明する．和と繰上りの論理が既に学んだ論理であることを実感させる．多数決論理と3入力XORを回路で実現する際の工夫についても解説する．製作実習は，第9週に設定した課題の実装を行う．設計した回路は図面と部品を他者に渡し他者に作ってもらう．他者が作ることを配慮できたかを確認する2回目の実習と位置付ける．宿題として次回までに講義で学んだ加算回路を組んでくること．	ブール代数の公式を使って比較的簡単な数式変形ができる．これまで学んだ理論を加算回路に適用できる．加算回路の回路的な工夫について説明できる．回路図，実体配線図を他者に自分の意図が正しく伝わるよう作成できる．
		11週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説をしながら加算器について復習する．加算回路の回路的な工夫が全加算器，半加算器であったことを説明．加算器の桁を増やす方法を理解させる．加算ができるとその延長上に様々な演算へ拡張できることを考え方のみ示す．回路製作上のスキルとして部品表の書き方，布線表の書き方を説明する．製作実習は記憶回路のイントロダクションとして，短い講義と実験を繰り返す形で実施する．これまで学んだ回路は組み合わせ論理と呼ばれること，新たな概念として論理値の記憶が可能なこと，高度な処理には記憶回路が必要であることを説明．準備として，抵抗を介した入力，優先入力について復習する．二重否定回路を製作し正帰還により0や1が記憶されたことを確認する．論理値の書込みと保持の操作を理解させ，操作順序により結果が変わることを体験させる．実験回路は記憶させるためにスイッチによる手動操作を含んでいるため，これを0,1制御に変更する必要性を強調．NANDによりRS-FFへ拡張することを説明する．宿題として次回までにRS-FFを組んでくること．	全加算器，半加算器について説明できる．回路図を補うものとして部品表や布線表を作成できる．二重否定回路の論理値を正帰還させることで論理値が記憶されることを体験的に理解している．その拡張としてRS-FFの動作を説明できる．
		12週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説をしながらRS-FFについて復習する．RS-FFの回路図は書き方で印象が変わるが結線が同じであれば同じ機能であることを理解させる．NORを用いてもRS-FFを構成できること，その際の動作の違いを説明．更にRS-FFを拡張してD-Latchにする考え方を説明．NANDとNORのどちらでも構成できるが端子の論理に違いが生じることを説明．この例を用いて端子名の命名法についても注意を与える．製作実習ではNANDによるD-Latch/NORによるD-Latchの双方を製作し，動作確認を行う．更に製作した二つのD-Latchをマスター・スレーブ接続しD-FFに拡張する．クロックは別に用意したRS-FFの出力を使う．D-FFの動作はD-Latchとどのように異なっているか実験的に確認させる．記憶を持つ論理回路の真理値表の書き方を説明する．	RF-FF/D-Latch/D-FFの動作を説明できる．またその真理値表を作成できる．

		13週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説をしながらD-FFまでの記憶回路について復習する．時点という概念が入った真理値表についても復習する．更にタイミングチャート，エッジ動作，立ち上がりエッジというキーワードについて説明し，前回作った回路を用いて出力の否定帰還によるトグル動作を体験させる．更にD-FFを複数用いることでシフトレジスタが構成できること，その動作の特徴を説明する．製作実習では，シフトレジスタ用ICを用いて，シフトレジスタとその応用回路の検証ができる回路を製作する．クロックの手動生成にRS-FFがなぜ必要かを理解させるため，チャタリングを体験してもらう．また，シュミットインバータによる発振器でクロックを生成できることを回路を作って学ばせる．これを用いて分周器の動作確認を行う．続いてM系列発生器について説明するが，動作確認は宿題とし，学生自身が考えながらタイミングチャートを書くよう指示する．	シフトレジスタの基本的動作を説明できる．動作推移表とタイミングチャートを作成できる．シフトレジスタの簡単な応用回路を説明できる．D-FFのクロックにはチャタリングの無い信号が必要であることを体験的に理解している．
		14週	前回の内容について小テストを実施．小テストの解説をしながらシフトレジスタの復習を行い，SIPO，線形帰還シフトレジスタ，というキーワードを補足する．更に分周器やM系列発生器をPIPOを用いて表現し，同期式順序回路の考え方の説明に関するイントロダクションとする．カウンタ，累積加算器の原理について解説する．製作実習では宿題としていたM系列発生器の動作チェックを行い，引き続き．累積加算器の製作を行う．教員が指定した通りの加算操作ができるかを確認する．	現在の情報と過去の情報から，次の動作状態を決める回路の重要性を理解している．その一例として累積加算器の動作について説明できる．
		15週	期末試験を実施する．	本講義のここまでのすべて範囲につき，回路実装につながる知識とともに理論を理解したことを，時間制約のある中で問題を解けたことによって実感できる．
		16週	期末試験の解説と振り返りを行い，ここまで学んだことが同期式順序回路の様々な応用や，CPUの構造につながっていることを理解させる．夏休みの課題として誕生日の自動表示器を製作させる．	3年後期のコンピュータ工学，4年前期のプロジェクト演習につながる基礎を確立できたことを実感できる．

モデルコアカリキュラムの学習内容と到達目標

分類		分野	学習内容	学習内容の到達目標	到達レベル	授業週
専門的能力	分野別の専門工学	電気・電子系分野	情報	整数、小数を2進数、10進数、16進数で表現できる。	3	
				基本的な論理演算を行うことができる。	3	
				基本的な論理演算を組み合わせて任意の論理関数を論理式として表現できる。	3	
				MIL記号またはJIS記号を使って図示された組み合わせ論理回路を論理式で表現できる。	3	
				論理式から真理値表を作ることができる。	3	
				論理式をMIL記号またはJIS記号を使って図示できる。	3	

評価割合

	試験	発表	相互評価	態度	ポートフォリオ	その他	合計
総合評価割合	80	0	0	0	0	20	100
基礎的能力	40	0	0	0	0	10	50
専門的能力	40	0	0	0	0	10	50
分野横断的能力	0	0	0	0	0	0	0