

大項目	中項目	学習目標	学習項目	詳細キーワード
人工知能とは	人工知能の定義	人工知能や機械学習の定義を理解する	人工知能とは何か、人工知能のおおまかな分類、AI効果、人工知能とロボットの違い	推論、認識、判断、エージェント、古典的な人工知能、機械学習、ディープラーニング
	人工知能研究の歴史	ブームと冬の時代を繰り返してきた人工知能研究の歴史を学ぶ	世界初の汎用コンピュータ、ダートマス会議、人工知能研究のブームと冬の時代	エニアック(ENIAC)、ロジック・セオリスト、トイ・プロブレム、エキスパートシステム、第五世代コンピュータ、ビッグデータ、機械学習、特許、ディープラーニング、推論・探索の時代、知識の時代、機械学習と特徴表現学習の時代、ディープラー
人工知能をめぐる動向	探索・推論	第1次ブームで中心的な役割を果たした推論・探索の研究について学ぶ	探索木、ハノイの塔、ロボットの行動計画、ボードゲーム、モンテカルロ法	探索木、幅優先探索、深さ優先探索、ブランチンク、STRIPS、SHRDLU、アルファ碁(AlphaGo)、ヒューリスティックな知識、Mini-Max法、 $\alpha\beta$ 法、プルアウト
	知識表現	第2次ブームで中心的な役割を果たした知識表現の研究とエキスパートシステムを学ぶ	人工無脳、知識ベースの構築とエキスパートシステム、知識獲得のボトルネック(エキスパートシステムの限界)、意味ネットワーク、オントロジー、概念間の関係(is-aとpart-ofの関係)、オントロジーの構築、ワトソン、東ロボくん	イライザ(ELIZA)、イライザ効果、マイシン(MYCIN)、DENDRAL、インタビュシステム、is-aの関係、has-aの関係、part-ofの関係、Cycプロジェクト、推移律、ウェブマイニング、データマイニング、ワトソン、Question-Answering、セマンティックWeb
	機械学習・深層学習	機械学習、ニューラルネットワーク、ディープラーニングの研究と歴史、それぞれの関係について学ぶ	データの増加と機械学習、機械学習と統計的自然言語処理、ニューラルネットワーク、ディープラーニング	ビッグデータ、レコメンデーションエンジン、スパムフィルター、統計的自然言語処理、コーパス、人間の神経回路、単純パーセプトロン、誤差逆伝播法、オートエンコーダ、ILSVRC、特許、次元の呪い、機械学習の定義、パターン認識、画像認識、特徴抽出、一般物体認識、OCR
人工知能分野の問題	人工知能分野の問題	人工知能の研究で議論されている問題や、人工知能の実現可能性を考察する	トイ・プロブレム、フレーム問題、チューリングテスト、強いAIと弱いAI、シンボリックラウンディング問題、身体性、知識獲得のボトルネック、特徴量設計、シンギュラリティ	ローナーコンテスト、中国語の部屋、機械翻訳、ルールベース機械翻訳、統計学的機械翻訳、特徴表現学習
機械学習の具体的手法	教師あり学習	教師あり学習に用いられる学習モデルを理解する	線形回帰、ロジスティック回帰、ランダムフォレスト、ブースティング、サポートベクターマシン(SVM)、ニューラルネットワーク、自己回帰モデル(AR)	分類問題、回帰問題、半教師あり学習、ラッパ回帰、リッジ回帰、決定木、アンサンブル学習、バギング、勾配ブースティング、ブートストラップサンプリング、マージン最大化、カーネル、カーネルトリック、単純パーセプトロン、多層パーセプトロン、活性化関数、シグモイド関数、ソフトマックス関数、誤差逆伝播法、ベクトル自己回帰モデル(VARモデル)、隠れ層、疑似相関、重回帰分析、AdaBoost、多クラス分類、ブルーニング
	教師なし学習	教師なし学習の基本的な理論を理解する	k-means法、ウォード法、主成分分析(PCA)、協調フィルタリング、トピックモデル	クラスタリング、クラスタ分析、レコメンデーション、デンドログラム(樹形図)、特異値分解(SVD)、多次元尺度構成法、t-SNE、コールドスタート問題、コンテンツベースフィルタリング、潜在的ディリクレ配分法(LDA)、次元削減、次元圧縮
	強化学習	強化学習の基本的な理論を理解する	バンディットアルゴリズム、マルコフ決定過程モデル、価値関数、方策勾配	割引率、 $\epsilon$ -greedy方策、UCB方策、マルコフ性、状態価値関数、行動価値関数、Q値、Q学習、REINFORCE、方策勾配法、Actor-Critic、A3C
	モデルの評価	学習されたモデルの精度の評価方法と評価指標を理解する	正解率・適合率・再現率・F値、ROC曲線とAUC、モデルの解釈、モデルの選択と情報量	交差検証、ホールドアウト検証、k-分割交差検証、混同行列、過学習、未学習、正則化、L0正則化、L1正則化、L2正則化、ラッパ回帰、リッジ回帰、LIME、SHAP、オッカムの剃刀、赤池情報量基準(AIC)、汎化性能、平均二乗誤差、検索性-偽陰性、第一種の過誤-第二種の過誤、訓練誤差、汎化誤差、学習率、誤差関数
	誤差逆伝播法	誤差逆伝播法	誤差逆伝播法	誤差逆伝播法
ディープラーニングの概要	ニューラルネットワークとディープラーニング	ディープラーニングを理解する上で押さえておくべき事柄を理解する	単純パーセプトロン、多層パーセプトロン、ディープラーニングとは、勾配消失問題、信用割当問題	制限付きボルツマンマシン
	ディープラーニングのアプローチ	ディープラーニングがどういった手法によって実現されたかを理解する	事前学習、オートエンコーダ、積層オートエンコーダ、ファインチューニング、深層信念ネットワーク	CPUとGPU、GPGPU、ディープラーニングのデータ量
	ディープラーニングを実現するには	ディープラーニングを実現するために必要ものは何か、何故ディープラーニングが実現できたかを理解する	CPUとGPU、GPGPU、ディープラーニングのデータ量	TPU
	活性化関数	ニューラルネットワークにおいて重要な役割をこなす活性化関数を理解する	tanh関数、ReLU関数、シグモイド関数、ソフトマックス関数	Leaky ReLU関数
	学習の最適化	ディープラーニングの学習に用いられるアルゴリズムである勾配降下法を理解する。そして勾配降下法にはどのような課題があり、どうやって解決するかを理解する	勾配降下法、勾配降下法の問題と改善	学習率、誤差関数、交差エントロピー、イテレーション、エポック、局所最適解、大域最適解、鞍点、プラトー、モーメンタム、AdaGrad、AdaDelta、RMSprop、Adam、AdaBound、AMSBound、ハイパーパラメータ、ランダムサーチ、グリッドサーチ、確率的勾配降下法、最急降下法、バッチ学習、ミニバッチ学習、オンライン学習、データリーケージ
	更なるテクニック	ディープラーニングの精度をさらに高めるべく考えられた数々のテクニックを理解する	ドロップアウト、早期終了、データの正規化・重みの初期化、バッチ正規化	過学習、アンサンブル学習、ノーフリーランチの定理、二重降下現象、正規化、標準化、白色化
	ディープラーニングの手法	畳み込みニューラルネットワーク(CNN)	CNNの構造を理解し、各層の役割と層間のデータの流れについて理解する	CNNの基本形、畳み込み層、プーリング層、全結合層、データ拡張、CNNの発展形、転移学習とファインチューニング
深層生成モデル	生成モデルにディープラーニングを取り入れた深層生成モデルについて理解する	生成モデルの考え方、変分オートエンコーダ(VAE)、敵対的生成ネットワーク(GAN)	ジェネレータ、ディスクリミネータ、DCGAN、Pix2Pix、CycleGAN	
画像認識分野	ディープラーニングの画像認識への応用事例や代表的なネットワーク構成を理解する。	物体識別タスク、物体検出タスク、セグメンテーションタスク、姿勢推定タスク、マルチタスク学習	ILSVRC、AlexNet、Inceptionモジュール、GoogLeNet、VGG、スキップ結合、ResNet、Wide ResNet、DenseNet、SENet、R-CNN、FPN、YOLO、矩形領域、SSD、Fast R-CNN、Faster R-CNN、セマンティックセグメンテーション、インスタンスセグメンテーション、パノプティックセグメンテーション、FCN(Fully Convolutional Network)、SegNet、U-Net、PSPNet、Dilation convolution、Atrous convolution、DeepLab、Open Pose、Parts Affinity Fields、Mask R-CNN	
音声処理と自然言語処理分野	音声と言語の時系列データをモデルに取り扱うためのニューラルネットワークモデルと最新の研究成果などを理解する	データの扱い方、リカレントニューラルネットワーク(RNN)、Transformer、自然言語処理におけるPre-trained Models	LSTM、CEC、GRU、双方向RNN(Bidirectional RNN)、RNN Encoder-Decoder、BPTT、Attention、A-D変換、パルス符号変調器(PCM)、高速フーリエ変換(FFT)、スペクトル包絡、メル周波数ケプストラム係数(MFCC)、フォルマント、フォルマント周波数、音韻、音素、音声認識エンジン、隠れマルコフモデル、WaveNet、メル尺度、N-gram、BoW(Bag-of-Words)、ワンホットベクトル、TF-IDF、単語埋め込み、局所表現、分散表現、word2vec、スキップグラム、CBOW、fastText、ELMo、言語モデル、CTC、Seq2Seq、Source-Target Attention、Encoder-Decoder Attention、Self-Attention、位置エンコーディング、GPT、GPT-2、GPT-3、BERT、GLUE、Vision Transformer、構文解析、形態素解析	
深層強化学習分野	強化学習にディープラーニングを組み込んだ深層強化学習の基本的な手法とその応用分野について理解する	深層強化学習の基本的な手法と発展、深層強化学習とゲームAI、実システム制御への応用	DQN、ダブルDQN、デュエリングネットワーク、ノイジーネットワーク、Rainbow、モンテカルロ木探索、アルファ碁(AlphaGo)、アルファ碁ゼロ(AlphaGo Zero)、アルファゼロ(Alpha Zero)、マルチエージェント強化学習、OpenAI Five、アルファスター(AlphaStar)、状態表現学習、連続制御、報酬成形、オフライン強化学習、sim2real、ドメインランダム化、残差強化学習	
モデルの解釈性とその対応	ディープラーニングのモデルの解釈性の手法について理解する	ディープラーニングのモデルの解釈性問題、Grad-CAM	モデルの解釈、CAM	
モデルの軽量化	計算リソースが十分ではないエッジデバイス等で学習モデルを活用する方法を理解する	エッジAI、モデル圧縮の手法	蒸留、モデル圧縮、量子化、ブルーニング	

ディープラーニングの 社会実装に向けて	AIと社会	AIを活用するための、考えるべき論点や基本となる概念を国内外の議論や事例を参照に理解する	AIのビジネス活用と法・倫理	AIによる経営課題の解決と利益の創出、法の順守、ビッグデータ、IoT、RPA、ブロックチェーン
	AIプロジェクトの進め方	AIプロジェクトをどのように進めるか、全体像と各フェーズで注意すべき点などを理解する。	AIプロジェクト進行の全体像、AIプロジェクトの進め方、AIを運営すべきかの検討、AIを運用した場合のプロセスの再設計、AIシステムの提供方法、開発計画の策定、プロジェクト体制の構築	CRISP-DM、MLOps、BPR、クラウド、Web API、データサイエンティスト、プライバシー・バイ・デザイン
	データの収集	AIの学習対象となるデータを取得・利用するときに注意すべきことや、データを共有しながら共同開発を進める場合の留意点を理解する	データの収集方法および利用条件の確認、法令に基づくデータ利用条件、学習可能なデータの収集、データセットの偏りによる注意、外部の役割と責任を明確にした連携	オープンデータセット、個人情報保護法、不正競争防止法、著作権法、特許法、個別の契約、データの網羅性、転移学習、サンプリング・バイアス、他企業や他家種との連携、産学連携、オープン・イノベーション、AI・データの利用に関する契約ガイドライン
	データの加工・分析・学習	集めたデータを加工・分析・学習させるときの注意点を理解する	データの加工、プライバシーの配慮、開発・学習環境の準備、アルゴリズムの設計・調整、アセスメントによる次フェーズ以降の実施の可否検討	アノテーション、匿名加工情報、カメラ画像利用ガイドブック、ELSI、ライブラリ、Python、Docker、Jupyter Notebook、説明可能AI (XAI)、フィルターバブル、FAT、PoC
	実装・運用・評価	実際にサービスやプロダクトとしてAIシステムを世に出す局面で注意すべきことを理解する	本番環境での実装・運用、成果物を知的財産として守る、利用者・データ保持者の保護、悪用へのセキュリティ対策、予期しない振る舞いへの対応、インセンティブの設計と多様な人の巻き込み	著作権、データベースの著作権、営業秘密、限定利用データ、オープンデータに関する運用除外、秘密管理、個人情報、GDPR、十分性判定、敵対的な攻撃 (Adversarial attacks)、ディープフェイク、フェイクニュース、アルゴリズムバイアス、ステークホルダーのニーズ
	クライシス・マネジメント	AIプロジェクトにおいてコーポレートガバナンスや内部統制、予期せぬことが起きた場合の対応などクライシス・マネジメント (危機管理) に備えることの重要性を理解する。	体制の整備、有事への対応、社会と対話・対応のアービトル、指針の作成と議論の継続、プロジェクトの計画への反映	コーポレートガバナンス、内部統制の更新、シリアス・ゲーム、炎上対策とダイバーシティ、AIと安全保障・軍事技術、実施状況の公開、透明性レポート、よりどころとする原則や指針、Partnership on AI、運用の改善やシステムの改修、次への開発と循環
数理・統計	数理・統計	機械学習を行う上で最適化は重要である。最適化に必要な数学基礎知識や微分を理解する。また機械学習で必要となる統計学基礎も理解する。	統計検定3級程度の基礎的な知識	統計検定3級程度の基礎的キーワードと計算問題