

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：34504

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22883

研究課題名(和文) 生きている神経回路網の「機嫌」によって言葉を選ぶ片言対話エージェントの試み

研究課題名(英文) An attempt of a babbling-dialogue-agent, depending on the "feeling" of a cultured living neural network.

研究代表者

工藤 卓 (Kudoh, Suguru)

関西学院大学・工学部・教授

研究者番号：10344110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：生体の培養神経回路網とスマートスピーカーを接続し、神経回路網の神経電気活動を感情ユニットとして利用する対話型ニューロロボットを構築した。システムはほぼ想定通りに動作することが確認され、培養神経回路網の前提的な電気活動状況についても解析した。DIV7-9の培養神経回路網を核とするエージェントとの対話実験を行った結果、エージェントの片言の応答は必ずしも意味が通らなかったが、人間の側が無意識的に補完して意味を理解することから、自然と感じられる会話が成立する場合もあった。実際に生体ユニットとコミュニケーションをとることで、このエージェントに心的なものを感じやすくなることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した半生体の対話エージェントは、生体要素を含んで構成されている。脳と同様にネットワークを構成して、揺らぎを含んだ相互作用を発現する培養神経回路網でモデルを作成すれば、それは人より類似した意識状態を持つに至るのではないかとする仮説のもとに、心のハードプロブレムに構成論的実証科学で挑んだ。本システムは、ユーザーに人の脳より類似した性質を持つ要素によって構成されたシステムとの対話を体験させることで、人の意識状態について考える機会を提供する。未だ限定的な結果ではあるが、対話エージェントの向こうに「心」が感じられるシステムが実現された可能性があり、工学的にも有用である。

研究成果の概要(英文)：We developed an interactive neurorobot provided the electrical activity in the neuronal network as an emotional unit by connecting a living cultured neuronal network and a smart speaker. It was confirmed that the system operated almost as expected, and the prerequisite electrical activity status of the cultured neuronal network was also analyzed. As a result of conducting a dialogue experiment with an agent core of the cultured neuronal network (DIV7-9). The babbles-talk-response of the agent did not always make sense, but since the human side unconsciously complemented and understood the meaning, there were cases where a conversation that felt natural was established. Actually communicating with the agent with a biological unit, it was suggested that this would make it easier for human to feel something emotional things with this agent.

研究分野：神経工学

キーワード：ニューロロボット 培養神経回路網 内部状態 twitter 感情極性 自発性神経電気活動

1. 研究開始当初の背景

近年、生命現象/社会現象や知的情報処理について、モデルを実際に創ることによって構成論的に理解しようという人工生命の研究領域がフォーカスされている。研究代表者は、これまで、ロボットを媒介として培養神経回路網が外界と相互作用するニューロロボット "Vitaenoid" を小さな脳のモデルとして開発し、相互作用による神経回路網の内部状態を解析してきた。これらの研究の究極の目標は、原始的なものであっても良いので意識の原型となるモデルを創って、心を構成論的に探究する、というものである。その探求の一つの発展として、本研究では、生体の培養神経回路網を神経回路網の神経電気活動を感情ユニットとして利用し、スマートスピーカーと人との対話内容をコントロールする対話エージェントを確立することを目的とした。対話の向こう側に感情のようなものが感じられるエージェントとは、返答の適切さ以上に、返答への感情的共感であるとか、常識的な範囲を逸脱しない範囲での意外性と言った要素が必要なのではないかと考えた。Vitaenoid の生体的な揺らぎを感情生成のコアとして用いることは、上記の目的に最適と考え、挑戦的研究(萌芽)のテーマとして本研究を着想した。

2. 研究の目的

本研究では、生体の培養神経回路網とスマートスピーカーを接続し、神経回路網の神経電気活動を感情ユニットとして利用して、対話内容を選択する、半生体の対話エージェントを実現する。本研究で開発するのは、片言で対話するエージェントである。生体要素で構成され、脳と同様にネットワークを構成して、揺らぎを含んだ相互作用を発現する培養神経回路網でモデルを作成すれば、それは人より類似した意識状態を持つに至るのではないか。このように本研究は心のハードプロブレムに構成論的実証科学で挑むものである。対話エージェントの向こうに「心」が感じられるシステムが実現出来るならば、工学的にも有用である。

3. 研究の方法

(1) Vitaenoid-BABILON の実装

生体の培養神経回路網とスマートスピーカーを接続し、神経回路網の神経電気活動を感情ユニットとして利用して、対話内容をコントロールする、対話エージェントとしてのニューロロボットを実現する。生きている神経細胞に外界と相互作用するインターフェースを付与した、半人工・半生命のシステムを、<生きた神経細胞をもつ、生命をもつようなロボット>という意味で、Vitaenoid (Vitae<生命>-N<神経細胞>-oid<-のような>)と呼ぶこととする。片言で対話するエージェントの発言を、生体の神経回路網の内部状態に依存して調整する Vitaenoid として構成する。音声として話しかけた文章を単語に分割し、この単語を検索キーワードとして文章リソース(Twitter など)を検索し、出現頻度の高い共起的な単語を数語選択して、それらを幼児の片言のように発話する Vitaenoid-BABILON (BABbling dlaL0gue ageNt)を開発する。片言対話というのは、相手が片言しか話さないの、人間の方が<そう言うものである>と納得して片言を補完しながら理解しようとする、という対話のモードである。Vitaenoid-BABILON では音声の入出力にはスマートスピーカーを使用し、これと情報をやりとりするエージェントを小型シングルボードコンピュータの Raspberry Pi 上に実装する。

(2) 神経回路網の内部状態の解析

神経回路網はその情報処理活動に履歴性を持ち、前の入力を引きずる性質がある。また、入力により神経細胞間の機能的な結合(信号伝達の重み)が変化する「シナプス可塑性」を備え、外界からの入力に応じて適応する性質がある。本研究では Vitaenoid-BABILON の感情ユニットとして神経回路網を組み込んで、神経回路網の内部状態や応答履歴特性を利用する。神経回路網の内部状態の定義を詳細に行い、入力に対する神経の応答パターンをより定量的に分類する手法を探索する。

(3) 記号設置した意味ネットワークを生成するエージェントの設計

乳児の言語学習過程をモデル化して、<記号設置した意味ネットワーク>を生成するエージェントの設計を試みる。乳児に掛けられる言葉を読点で区切ったテキストとし、意味性の教師信号として快・不快感情を誘発する外部刺激を与える。自動抽出された入力単語と快-不快状態を生成するシステムの内部状態から定まる意味性を対応づけて、言語の共起ネットワークに快-不快に還元した意味性を付与することで、意味ネットワークを生成する。この意味ネットワークは、快-不快感情によって単語の記号が接地したネットワークであると考え、そこに人造意識が生成され得ると考えた。

4. 研究成果

(1) Vitaenoid-BABILON の実装

初年度の段階で、生体の培養神経回路網とスマートスピーカーを接続し、神経回路網の神経電気活動を感情ユニットとして利用する対話型ニューロロボットの全体的な基盤を構築した(図1)。システムはほぼ想定通りに動作することが確認され、培養神経回路網の前提的な電気活動状況についても解析をすすめた。

ニューロロボット Vitaenoid BABILON のシステム構成

Vitaenoid BABILON は大きく分けて、半生体ハイブリッドコアと、BABILON 制御ユニットにより構成される。培養神経回路網と、それに対する入出力を担う機構を半生体ハイブリッドコア"Internal State core in Hybrid of Living Things and ARTifact (ISHTAR)"と名付けた。入力部は培養神経回路網への定電流刺激ユニット、出力部は神経電気活動のスパイク検出および高次元神経電気活動特徴ベクトル生成ユニットから構成される。ISHTAR が生成した特徴ベクトルから内部状態が定義され、それに応じて BABILON は応答を調整する。ISHTAR の内部状態定義ユニットでは、刺激により得られた神経活動パターンを、予め用意したテンプレートパターンと比較して内部状態を定義した。

ポジティブ・ネガティブにラベル付けされた各電極について、定電流刺激を印加し、計測された誘発応答パターンから、感情テンプレートパターンを作成した。各刺激印加直後の時間窓におけるチャンネルごと発火数を計数し、64次元の特徴ベクトルを生成した。このポジティブあるいはネガティブにラベル付けされた特徴ベクトルは、それぞれエージェントの感情の揺らぎに対する標準的な活動パターンの意味を持つ。リアルタイムの入力に対する誘発性神経電気活動パターンと、あらかじめ用意した各テンプレートパターンとのコサイン類似度を計算し、各類似度の差分の定数倍をエージェントの内部状態として定義した。BABILON 制御ユニットでは、要素ユニットとして ngrok, Twitter API(Twitter), DialogFlow(Google)を用い、音声入力をテキストデータ化したデータ、および Twitter から取得したテキストデータ群に対して、Python 用ライブラリ oseti を用いて感情分析を行った。判別した感情極性に従ってポジティブ・ネガティブにラベル付けされた電極に入力し、生体神経回路網の内部状態を変動させ、エージェントの感情の表象とした。エージェントの出力には、語彙として Twitter を活用した。エージェントは音声入力した内容をテキスト化し、文章を代表する単語を抽出し、これらを検索語として Twitter を検索した。検索により得られたツイート群の全ての感情極性値を計算し、エージェントの内部状態が示す感情極性値と最も近くなるツイートを選定した。これは人間が自身の語彙や経験からその時々感情に合わせて言葉を選ぶことをモデル化している。選定されたツイートから、名詞・動詞・形容詞を抽出し、出力候補単語群とした。この中から無作為に3つ、検索キーワードと重複しないよう出力単語を選択した。エージェントはこの3語を片言で呟くこととした(図1)。

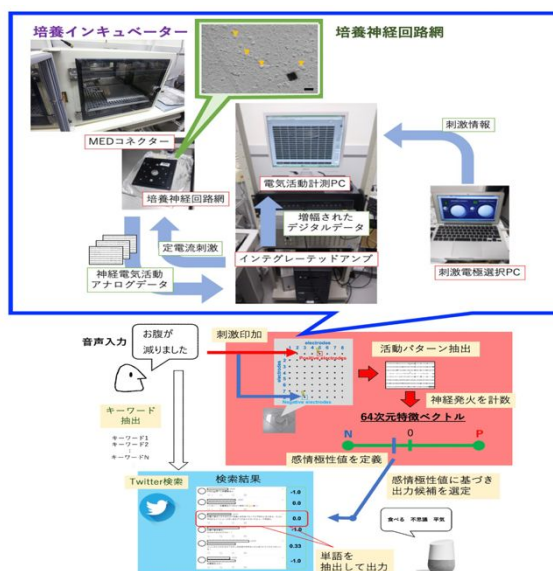


図1 Vitaenoid BABILON の概要。

この誘発性神経電気活動パターンと、あらかじめ用意した各テンプレートパターンとのコサイン類似度を計算し、各類似度の差分の定数倍をエージェントの内部状態として定義した。BABILON 制御ユニットでは、要素ユニットとして ngrok, Twitter API(Twitter), DialogFlow(Google)を用い、音声入力をテキストデータ化したデータ、および Twitter から取得したテキストデータ群に対して、Python 用ライブラリ oseti を用いて感情分析を行った。判別した感情極性に従ってポジティブ・ネガティブにラベル付けされた電極に入力し、生体神経回路網の内部状態を変動させ、エージェントの感情の表象とした。エージェントの出力には、語彙として Twitter を活用した。エージェントは音声入力した内容をテキスト化し、文章を代表する単語を抽出し、これらを検索語として Twitter を検索した。検索により得られたツイート群の全ての感情極性値を計算し、エージェントの内部状態が示す感情極性値と最も近くなるツイートを選定した。これは人間が自身の語彙や経験からその時々感情に合わせて言葉を選ぶことをモデル化している。選定されたツイートから、名詞・動詞・形容詞を抽出し、出力候補単語群とした。この中から無作為に3つ、検索キーワードと重複しないよう出力単語を選択した。エージェントはこの3語を片言で呟くこととした(図1)。

Vitaenoid BABILON との対話実験

DIV7-9 の培養神経回路網を核とするエージェントとの対話実験を行った。エージェントの片言の応答は必ずしも意味が通らなかったが、人間の側が無意識的に補完して意味を理解することから、自然と感じられる会話が成立する場合もあった。たとえば、「この間の学会では被災して大変だったよ (negative)」に対して、「痛苦 相伴 所以」と答えたエージェントの意図を、ユーザーが「(災害が)苦痛が相伴った所以だね」と答えたことと解釈するような例があった。人間の側から自然と感じられるインタラクションには、まず文章の感情極性値計算が人間の主観と一致することが重要であることを示した。システムに用いた日本語評価極性辞書は、ネガティブ、ポジティブ、ニュートラルの3値の評価極性情報を持つが、細胞外多点計測システムの同時刺激可能な電極数の制約から評価結果をポジティブかネガティブかの二値に変換する必要があった。この変換制約と辞書の語彙数の制約から全ての文章の感情極性値計算が人間の主観と一致することはなかったが、培養神経回路網の実際の神経電気活動をもとに設定したエージェントの内部状態は、ある程度のばらつきはあるも

の、概ね、ポジティブな文章に対してはポジティブを、ネガティブな刺激に対してはネガティブを指し示すと言う結果を得た。エージェントの内部状態が指し示す感情極性値は完全にランダムではなく、刺激を行うタイミングなどに依存して揺れ動いた。これらの結果から、核となる培養神経回路網を取り換えた各エージェントにポジティブ思考やネガティブ思考、また刺激に対して反応が薄いニュートラルなタイプなど、様々な個性が発現したことが示唆された。出力結果の例を表 1 に示す。アンケートの結果から、対話が成立した場合を 10 とし、対話が不成立の場合を 0 とし、各対話を行う前の実験参加者の感情についても同様に、自身が快状態にある場合を 10、不快状態にある場合を 0 として解析した。10 回の対話において、実験参加者の感情の平均値は 5.2 ± 2.3 (平均 \pm 標準偏差, N=50)、対話の成立度の平均は 4.2 ± 3.1 (平均 \pm 標準偏差, N=50)、入力感情極性値の平均値は 0.24 ± 0.62 (平均 \pm 標準偏差, N=50) であった。各対話後の実験参加者の感情と、直前の対話の成立度の相関係数は -0.10 であった。また、「このシステムに意識のようなものを感じるか回答してください」という質問に対し、対話実験前では 4.8 ± 2.3 (平均 \pm 標準偏差, N=5)、対話実験後では 6.0 ± 1.3 (平均 \pm 標準偏差, N=5) となった。対話実験において、実験前後でエージェントに感じる意識の度合が上昇したことから、コミュニケーションをとることで人間の認識が変化し、このエージェントに心的なものを感じやすくなることが示唆された。対話の成立度(自然な会話が成立したかを示す指標)が平均的に低かったにも拘らず、対話実験中におけるユーザーの感情は概ね中間程度であった。更に、直前の対話の成立度とユーザーの感情との間に相関は見られなかった。これらのことから、対話が成立しないことでユーザーに与える影響よりも、その時の本人の機嫌の振れ幅のほうが大きく、ユーザーは出力単語群から文脈を補完しながら対話を継続しようとしたことが予想される。対話の成立度が平均的に低かった原因として、ストップワード辞書だけでは情報量の低い語句を排除しきれなかった可能性があるが、これは Twitter のタイムラインを探索し、出現頻度の高い語句をストップワードとすることで解決できると考えられる。今後さらに検討が必要である。

(2) 神経回路網の内部状態の解析

神経電気活動パターン(図 2)から、神経回路網の内部状態の定義をより詳細に行い、入力に対する神経の応答パターンをより定量的に分類する手法を探索した。具体的には、入力刺激直後の時間窓において、神経活動パターンを特徴ベクトルで表現し、これと神経活動パターンの典型例による感情テンプレートとの類似性をコサイン類似度を指標として解析した。自発性神経電気活動と誘発性神経電気活動が分離出来ている場合、刺激直後の時間窓におけるテンプレートパターンと刺激入力に反応して発現した活動パターンとのコサイン類似度は、それ以外の時間窓における類似度と比較して有意に高い傾向が観察された。この結果から、神経電気活動への入力の影響は刺激直後に大きく、感情テンプレートと神経回路網の内部状態とのコサイン類似度を指標として、エージェントの感情極性を表現可能であることが確認された。また、2 秒間隔刺激を連続的に印加することで、刺激電極から離れた電極より取得した誘発性神経電気活動パターンが変動し、特に刺激直後 80 ms までの発火数の減少が顕著であった。これらの結果から、刺激入力に関する情報はこの時間領域内に多く含まれていることが示唆された。更に、刺激間隔を短くすることで、培養神経回路網で「慣れ」のような現象が起こり、特定のパターンが抑制されることが示唆された。これらの特性を活用すると、エージェントの応答をさらに多様にすることが可能である。

さらに、培養された神経回路網における自発性神経活動と複数の入力に対する誘発応答の間の電氣的活動パターンの類似性を解析した。発現したパターンの重なりを定量化するため、1 次元縮約した自発性神経活動パターンと刺激電極ごとの誘発応答パターンの 25-75% の範囲を信頼区間として、真のパターン範囲での他のパターン範囲と重複している範囲の割合を全組み合わせで算出した。自発性神経活動パターンは多様な誘発応答パターンと範囲が重複しており、刺激を印加した際に発現するパターンソースになっている可能性が高いことが示唆された(図 2, 3)。また、異なる入力に対する応答がそれぞれ特定のクラスターに属していた

表 1 Vitaenoid BABILON の出力結果の例(E18DIV7-9)

機種	成立度	入力	入力の極性値	検出語句	出力	エージェントの感情極性値
0	70	今日も寒いですね	0	今日寒い	北風 ハグ 寒い朝	0.0134
0	30	何が食べたい	0	食べる 何	きもち 翌日 入れる	0.0132
-1	70	好きな食べ物は何	1	好き 食べ物	かき 質問 匿名	-0.0055
-1	20	コロナ大変	-1	大変 コロナ	一律 開く 発言	-0.0450
-2	10	何の動物が好き	1	好き 動物 何	見る 質問 せる	-0.0050
1	10	事故っちゃった	-1	ちやうく 事故	自信 * 持つ	-0.0439
1	10	このスマホケース可愛くない	-1	可愛い	後頭部 困る うずら	-0.0487
1	0	靴を買いたい	0	買う 靴	女の子 匿名 シャンプー	-0.0491
2	40	明日は修論を書きます	1	明日 書く 修論	* 迷う 中	0.0029
2	90	お腹空いた	0	空く お腹	やばい デブ いっぱい	-0.012

ことから、異なる入力に対してある特定のパターンが再現よく発現することが示唆された。また、同一の入力に対しても、複数のパターンが発現しており、神経回路網においては、内部状態に依存して確率的に活動パターンが発現している可能性が示唆された。

これらの結果について、現在、学術誌に投稿中である。

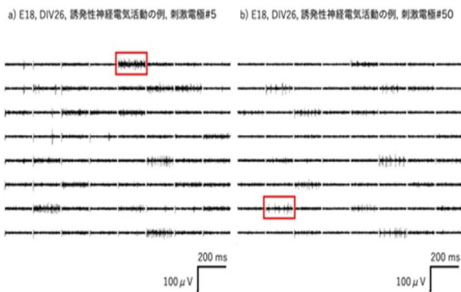


図2 培養神経回路網における電気活動の例.

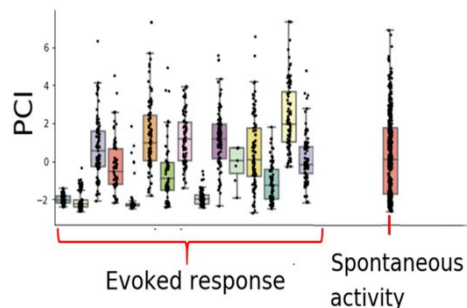


図3 自発性神経活動と誘発応答の第一主成分の分布

(3) 記号設置した意味ネットワークを生成するエージェント

乳児期から幼児期にかけて行われる人の感情の形成や意味の区切りの学習を元として、培養神経回路網における原初的な意識の生成を仮想的に試みたシステムを開発した。最終的には本システムの機能の一部を Vitaenoid BABELON に統合して意味性の記号接地を行う事で、培養神経回路網における原初的な意識の生成を目指す。本研究では、その前段階となる *in silico* のシステムを開発した。システムの学習は、テキスト(乳児への声かけを仮託する)と単語の意味性の教師信号として光強度を想定した快-不快入力(乳児の視覚・触覚を仮託)として、これらをつなげる意味ネットワーク生成するものとした。意味ネットワークは、単語の出現頻度や意味性と共起した単語の情報を保有するネットワークである(乳児の記憶に相当)。意味ネットワークの学習は、分節化ユニット、内部状態ユニット、単語の意味性接地ユニット、意味ネットワーク更新ユニットにより行った。学習した意味ネットワークは、単語の意味性ラベル(快-不快)によるクラスタリングにより、単語の意味性(快-不快)毎にクラス分けし、単語の恒常的な意味性である意味値と解釈値(外部からの学習・幼児の読書など)を対応づけた。学習した意味ネットワークにより、分節化可能な単語の解釈値のクラスを算出し、分節化された単語の共起している単語から解釈値と対応する意味値のクラスを含む単語群からランダムに10語出力する。

このシステムにおける意識は、単語の意味性の対応づけや出力される単語により表出されると考えられる(図4)。

評価実験として、夏目漱石の「こころ」を入力テキストとした。単語に結び付けられて生成された情動は、培養神経回路網における発火数を快-不快状態の指標とした場合と、指標の特性が定性的に類似したことから、本研究で作成したシステムは培養神経回路網における原初的な意識をシミュレートする可能性が示唆された。入力された単語に快不快の情動指標を付して、単語の共起性から応答出力を構成したところ、限定的な結果では有るが、関連する単語が出力される例も認められた(表2)。但し、自然な連想を表現する意味ネットワークの形成には、さらに大量の学習データが必要であると考えられる。

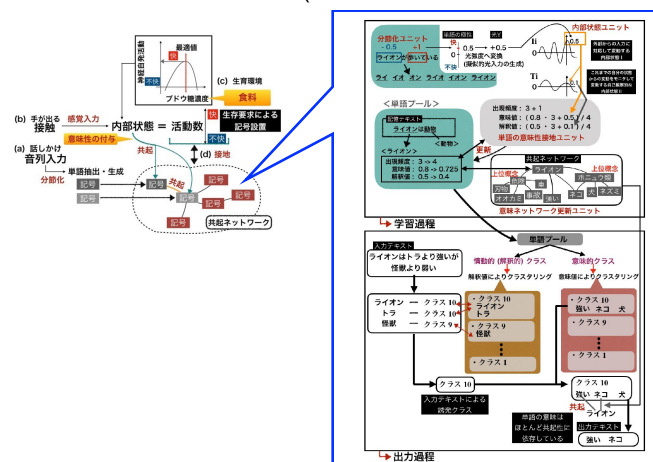


図4 記号設置概念システムの概要.

表2 記号設置システムの出力例

クラス	単語数	意味値 (平均 ± 標準誤差)	クラス内の単語
1	76	-0.33 ± 0.0037	苦笑, 別れ, は苦, ふらふら, 嫌い
2	208	-0.18 ± 0.00013	注意, 躊躇, 困難, 馬鹿, 軽蔑
3	436	-0.082 ± 0.000031	矛盾, 叔母, 破壊, 嫉妬, 向上心
4	846	-0.010 ± 0.000024	遠慮, 不平, 冷た, 国元, 真面目
5	1257	0.043 ± 0.000018	先生, その, んで, 常に, から
6	947	0.092 ± 0.000019	引き, 自然, 鎌倉, 肝心, は後
7	557	0.15 ± 0.000023	成功, 喜ん, 不快, 自信, 殉死
8	344	0.23 ± 0.000016	容易, よし, いい, 反抗, 暴力
9	199	0.32 ± 0.000094	友達, 復活, 別荘, 学校, 無理
10	56	0.45 ± 0.00051	満足, 義理, 楽し, 下手な, 賛成

不快クラス

快クラス

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 工藤 卓
2. 発表標題 ニューロロボットは記号設置の夢を見るか?
3. 学会等名 東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻「先端知能機械情報学セミナー」(招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kai Hirokawa, Suguru N. Kudoh
2. 発表標題 The analysis of dynamics and the relationship between spontaneous and evoked activity as cell assemblies in a cultured neuronal network
3. 学会等名 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2021)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 百瀬 仁人, 工藤 卓
2. 発表標題 入力の自発的分節化による意味概念の生成の試み
3. 学会等名 第37回ファジィシステムシンポジウム (FSS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣川 快, 工藤 卓
2. 発表標題 培養神経回路網におけるセル・アセンブリのダイナミクスおよび自発的活動と誘発応答の関係性
3. 学会等名 2021年度電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山島 大輝, 工藤 卓
2. 発表標題 生体神経回路網による刺激応答活動パターンの連想的記憶誘導の試み
3. 学会等名 2021年度電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浅田 紘基, 工藤 卓
2. 発表標題 培養神経回路網における誘発応答パターンの再現性を基準としたクラスタリングの試み
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 hao Enming, Kudoh Suguru, N
2. 発表標題 An attempt to reproduce associative learning on a cultured neuronal network for development of a self-learning neurorobots. 自己学習型ニューロロボットのための、培養神経回路網における連想学習再現の試み
3. 学会等名 生物物理学会第59回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 趙 恩明, 工藤 卓
2. 発表標題 生きている培養神経回路網による自己学習可能なニューロロボットの開発
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三谷諒, 工藤卓
2. 発表標題 ニューロロボット構築のための培養神経回路網の経時変化
3. 学会等名 第36回ファジィシステムシンポジウム(FSS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tatsunori Kishimoto, Suguru N. Kudoh, Takahisa Taguchi, Chie Hosokawa
2. 発表標題 Neuronal electrical activity induced by optical trapping of neurotransmitter receptors on neuron
3. 学会等名 Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryu Umebayashi and Suguru N. Kudoh
2. 発表標題 Neurorobot " Vitaenoid" - an Interaction System between a Living- Neuronal-Network and Outer Environment,
3. 学会等名 ALIFE 2019, Newcastle Helix (Newcastle, UK) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福井花菜、工藤卓
2. 発表標題 細胞外ブドウ糖濃度の変更による培養神経回路網の自律的エネルギー調節
3. 学会等名 2019年度電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊達悠樹、工藤卓
2. 発表標題 培養神経回路網における自発性神経電気活動パターンと刺激誘発応答パターンの類似性
3. 学会等名 2019年度電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>本研究テーマに関連する受賞：</p> <p>1. 2020年度日本知能情報ファジィ学会奨励賞 日本知能情報ファジィ学会 三谷 諒, 工藤 卓, 連続入力による神経回路網電気活動の抑制効果を利用したニューロロボット</p> <p>2. 第29回インテリジェント・システム・シンポジウム 優秀論文賞 , FANシンポジウム運営委員会 趙恩明, 工藤卓, 生体神経細胞によるネットワークにおける入力応答パターンの連合</p>
--

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------