1 そもそも回路とは何だろう

循環的に流れる全ての通路を回路という

この本は、電気回路の設計を学ぶ本です。そこで、これから回路の勉強をするに先立ってその原点である回路とは何かという所から話を進めたいと思います。

さて回路の意味ですが、試しにその辺にいる方に回路とは何かと聞くと、まず大半の方は電気回路について答えてくれます。しかし、マニアックな筆者には少々物足りないような気がします。そこで本書では回路の根本的な話から電気回路の話に進みたいと思います。まず回路そのものの定義ですが、**表1**に示すように回路には大きく分けて二つの意味があります。

その一つは広義の回路です。これは全てのものが循環的に流れる通路のことであり、これには文化人類学的に見る道路、輪道、競技道路（サーキット）、海路、空路などがあります。また工学的に見ると電気回路（電子回路）があります。さらに生物学的に見ると生物の物質代謝経路の循環的な部分があります。このようにいずれをとっても循環的な通路が形成されている状態を表しています。次にもう一つの回路は狭義の回路、つまり電気回路のことです。

ここで電気回路（電子回路）にはとうぜん電流が流れるので、その通路は金属などの電線で構成されています。具体的には**図1**のように電流が循環的に流れる通路のことです。電源から流れ出た電流はA－B－C－Dの順路を介して再びもとの電源に戻ります。この動作を循環的に繰り返すのでランプは点灯するのです。また、これを道路にたとえるなら図1－Bのように表現することができます。

次に図1の回路が断線して**図2**のようになったらどうでしょうか。ここでは電流通路が遮断されているので回路は形成されず、ランプも点灯しません。これを道路にたとえるなら図2－Bのように表現することができます。したがって、この状態は回路の条件を満たしていないのです。ようするに循環路が形成されている状態でなければ回路ではないのです。

要点BOX
- ●回路の意味
- ●電気回路なら、道路なら
- ●循環的に流れなければ回路ではない

表1　そもそも回路とは何か?

回路の定義

- **A 広義の回路とは**（全ての物が循環的に流れる通路のこと）
  - A-1 文化人類学的にみると → 道路、輪道、競技道路（サーキット）、海路、空路
  - A-2 工学的にみると → 電気回路（電子回路）
  - A-3 生物学的にみると → 生体の物質代謝経路の循環的な部分
- **B 狭義の回路とは**（電気の流れる通路のこと）

回路とは端的に表現すると図1のように電流が循環的に流れる通路の総称である（広辞苑を参考）

図1　回路のイメージ

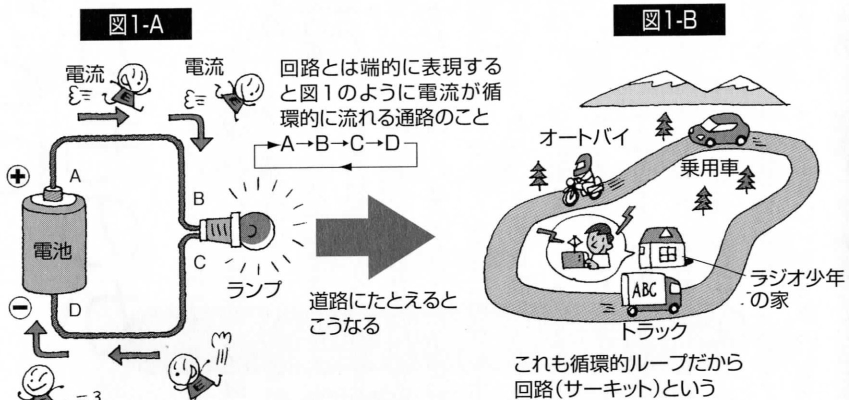
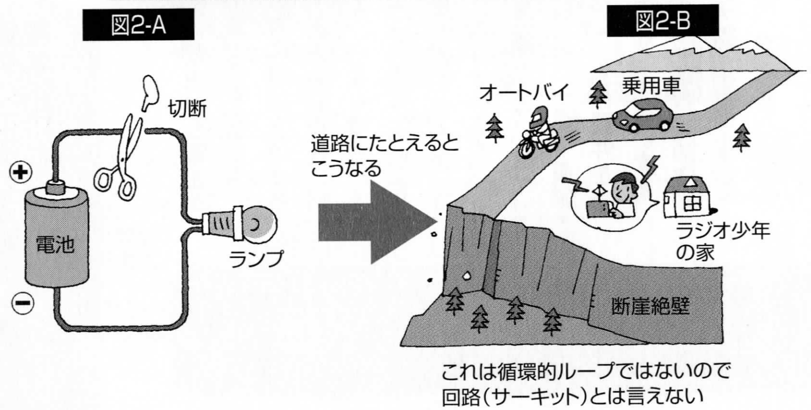


図2　電流の循環路が遮断される（回路とは言えない）



2 電気回路とはどのようなものか

循環的に流れる電流通路を電気回路という

回路の根本的な話は1項で説明しましたので、ここでは電気回路の定義について、さらに追求したいと思います。まず手始めに表1に示すように電気回路とは電源に抵抗やコイル、コンデンサ、半導体などの電気的素子が導電体でつながった電流ループのことです。

ところで半導体などの能動素子「電子デバイス」を多用した回路を電子回路という場合もありますが、上位概念としては電気回路の範疇です。これは電磁石やランプ、抵抗などの受動部品しかない時代にできた言葉です。したがってもとをただせば電気回路も電子回路も電気の流れです。

さて、図1はもっともシンプルな電気回路を取り上げたものであり、ここでは電池とランプが接続されている様子が描かれています。図から分かりますように電源から流れ出た電流がA→B→C→Dの順路を経て再びもとの電源に戻ります。この動作を循環的に繰り返すとランプ負荷Laは点灯するのです。このように電気回路が機能するためには電源から電流が流れ、これが連続的に循環する必要があるのです。

広辞苑によりますと電気回路とは『電流を通ずるための路』と定義されています。このため回路内に何らかの起電力がなければなりません。つまり電池、そのほかの電源発生装置が必要なのです。この場合、図1にはハッキリした起電力、つまり電池があり、これからランプLaに循環電流が流れつづけています。したがってこの状態では表1の要件を満たしています。

次に図2はどうでしょうか。この回路は一見、電源らしきものはありません。したがって、先の要件を当てはめると、回路でないということになってしまいます。

しかし、この回路は鉱石ラジオと呼ばれ、図中のコイルとコンデンサ、それにアンテナ線が電波エネルギー（起電力）を捉える役目をしており、立派な回路です。このように一見回路内に電源らしきものがなくても、回路として機能しているものが沢山あります。

要点BOX
- ●電気回路の定義
- ●シンプルな電気回路
- ●電源がなくても電気回路

表1　電気回路（電子回路）の必要十分条件

電気回路（電子回路）の定義

電気回路とは『電流を通ずるための路』である。（広辞苑）

↓ もう少し分かりやすく説明すると

電気回路とは電源に抵抗やコイル、コンデンサ、半導体などの電気的素子が導電体で継った電流ループのこと

補足　半導体などを多用した電気回路を電子回路と言うこともあるが、これは電気回路の範疇である。つまりこの言葉は電気回路の後で生まれたもので、便宜上使い分けることもある。

電気回路と電子回路は同じものである

電気回路（上位概念）➡ 電子回路（下位概念）

図1　最も シンプルな電気回路

これは電源があるから間違いなく回路

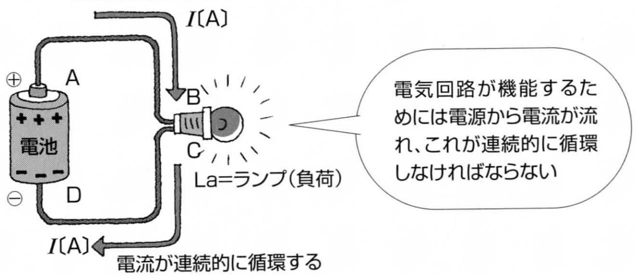
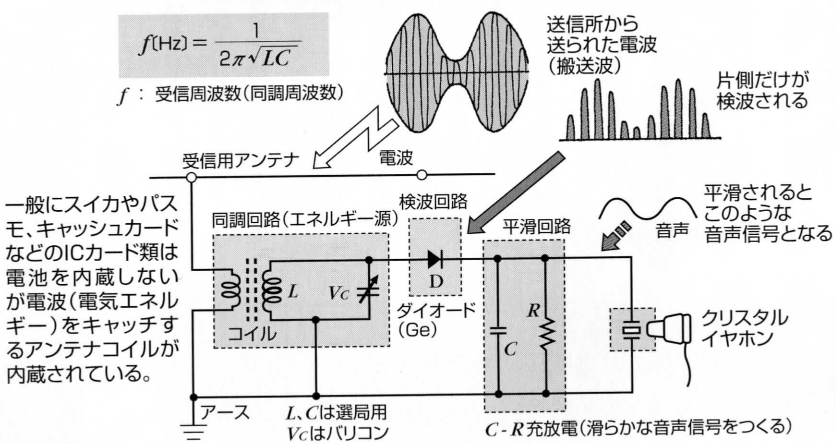


図2　鉱石ラジオの回路（一見、電源らしきものがない）（これは同調回路が電源の働きをする）

これは電源がないから回路ではないのか？

$$f\text{〔Hz〕}=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

f：受信周波数（同調周波数）



3 ランプの明るさからオームの法則を学ぶ

回路設計の基本はオームの法則から

筆者は幼少のころから電気に大変興味を持ち、身の回りの電気製品を毎日のようにいじり回していました。しかし、電気回路の基本が分からない段階で、また身近に教えを請う人もいない情況では大して進歩もなく、数年が経過してしまいました。これではいけないと思い、自分なりに電気の本を読み漁った記憶があります。そこで、最初に学んだのはオームの法則です。ここでオームの法則とは、「導体を流れる電流の強さは、その両端における電位差に比例し、その導体の抵抗に反比例する」というものです。

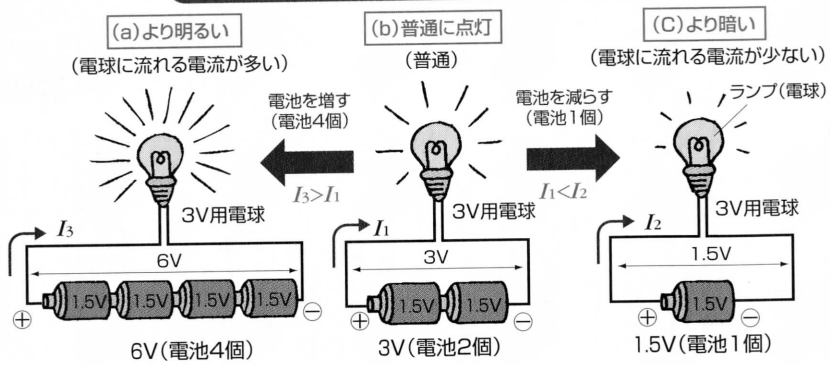
つまり、抵抗に加えられる電圧と、そこに流れる電流との間には比例関係が成り立つということです。この関係をもう少し具体的に説明すると、たとえば左ページ**図1**(b)に示すような回路に電池をつなぐと電流が流れランプが点灯します。この場合、図1(a)のように電池の数を増やすと電圧が上がり、より多くの電流が流れ、電球はより明るく点灯します。反対に図1(c)のように電池の数を減らすと電圧も下がり、そこに流れる電流も減少し、結果的にランプは暗くなります。この現象をまとめるとオームの法則の「電流は電圧に比例し」というところに相当します。

ところで、オームの法則はドイツの物理学者オーム(Georg Simon Ohm 1789〜1854)によって、1826年に発表されたもので、その業績をたたえて、オームの法則と呼ばれているのです。なお、オームの法則は端的に表現すると「電流は電圧に比例し、電気抵抗に反比例する」というもので、これは左頁の①②③式の関係で表されます。

ここで、①は電流を求める場合の公式、②は抵抗を求める場合の公式、③は電圧を求める場合の公式をそれぞれ表しています。なお、この法則は電気の基本法則といわれ、あらゆる電気回路の基本となっています。このため、ほかの公式は忘れても、これだけはしっかり覚えていれば、とりあえず十分です。

要点BOX
- ●オームの法則
- ●電流、抵抗、電圧の関係を定義
- ●電気回路の基本

図1　オームの法則を理解する



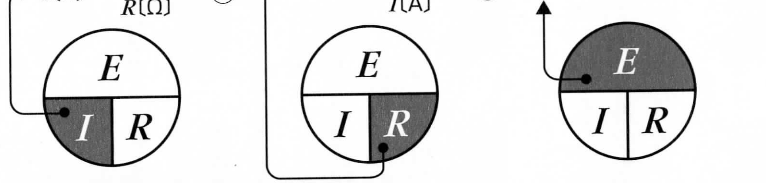
ランプの明るさでオームの法則を確認する

***R*、*E*、*I* 円板でオームの法則を理解する**

①電流を求める場合　$I[\mathrm{A}]=\dfrac{E[\mathrm{V}]}{R[\Omega]}$ …①

②抵抗を求める場合　$R[\Omega]=\dfrac{E[\mathrm{V}]}{I[\mathrm{A}]}$ …②

③電圧を求める場合　$E[\mathrm{V}]=I[\mathrm{A}]\cdot R[\Omega]$ …③

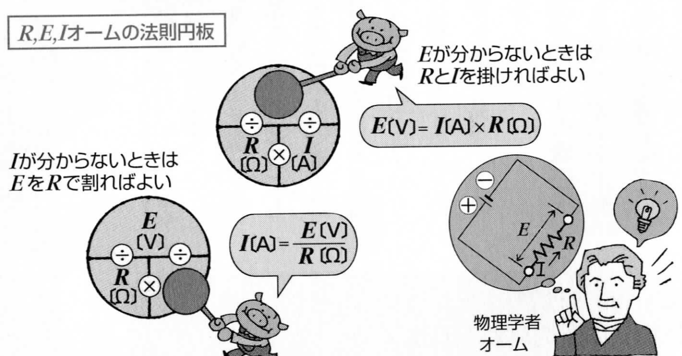


オームの法則

数式で表すと ➡ $I[\mathrm{A}]=\dfrac{E[\mathrm{V}]}{R[\Omega]}$　$I[\mathrm{A}]$:電流、$E[\mathrm{V}]$:電圧、$R[\Omega]$:電気抵抗

文章で表すと ➡ 電流は電圧に比例し、電気抵抗に反比例する

*R,E,I*オームの法則円板



オームの法則だけは、しっかり覚えること。それだけで、あなたは電気に強くなる。オームの法則は、まさに伝家の宝刀である。

4 抵抗と電圧の関係を理解する

抵抗が同じなら電圧に比例して電流が増える

電気の初心者が回路設計を学ぶ場合、まず始めに行うことは電気回路に頻繁に登場する専門用語の意味を覚えることです。そこで本書では第1章の章末に幾つかの専門用語を取り上げ、意味を説明していきます。

さて、一般に電気回路を覚えるには理論と実験を繰り返すのが一番だと言われています。しかし、いろいろな事情ですぐに実験できない環境の方もいらっしゃるので、とりあえず簡単な電気回路図を中心にやさしい話から駒(こま)を進めたいと思います。

図1は抵抗と電圧の関係を理解するための全容であり、ここでは図1Aが5Vの電源に100Ωの抵抗5個を直列に接続しています。また図1Cは電源電圧を10Vに上げたもので、その他は図1Aと同じです。ここで図1Aに流れる電流を求めると、R_1～R_5の直列に接続された合成抵抗は、100Ω×5個ですから500Ωとなります。この抵抗値と電源電圧5Vの数値から①式を適用すると②式のように0.01A、つまりこの回路に流れる電流は10mAとなります。

次に、この状態で各部の抵抗間の電圧を調べてみると5本の抵抗1個が受け持つ電圧はどの抵抗にも10mA流れているので、ここにオームの法則の③式を適用すると各部の抵抗間の電圧は0.01A×100Ωで1Vの電圧となります。つまりこの回路では100Ωの5本の抵抗が5Vの電圧を5等分していることになります。この関係を図1Aの電圧計で見るとその電圧配分は図1Bのようになります。

次に図1Cですがこれは先の回路図1Aの電圧を10Vにしたものです。この回路の電流I〔A〕を求める場合、先の①式を使うと④式のようになります。つまりこの回路では電流が20mAとなります。これはオームの法則そのもの、「電流は電圧に比例する」のくだりのとおりです。したがって、各部の抵抗間の電圧は図1Cのようになります。

要点BOX

- ●まず専門用語を覚えよう
- ●抵抗と電圧の関係を理解する
- ●抵抗と電圧から電流を求める

図1　抵抗と電圧の関係を理解する

図1A　100Ωの抵抗5個を直列接続

$$I\text{〔A〕}=\frac{E_b\text{〔V〕}}{R\text{〔Ω〕}}\quad\text{…①式}$$

$$I\text{〔A〕}=\frac{5\text{V}}{500\Omega}=0.01\text{〔A〕}\quad\text{…②式}$$

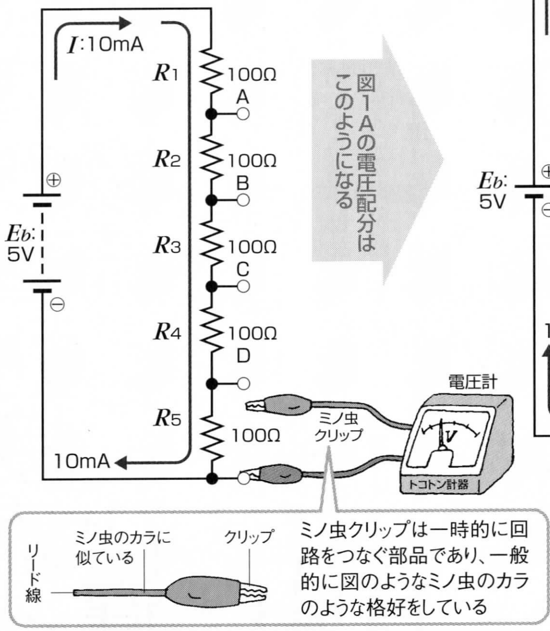
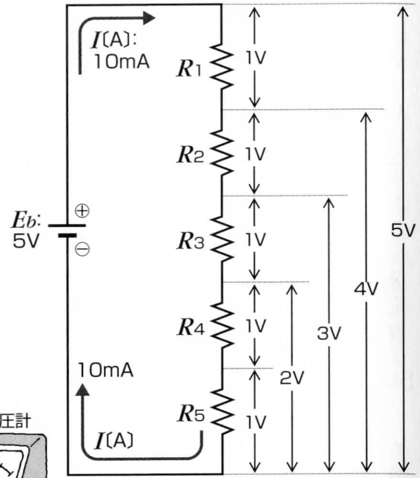


図1B　図1Aの電圧配分

$$E\text{〔V〕}=I\text{〔A〕}\times R\text{〔Ω〕}\quad\text{…③式}$$

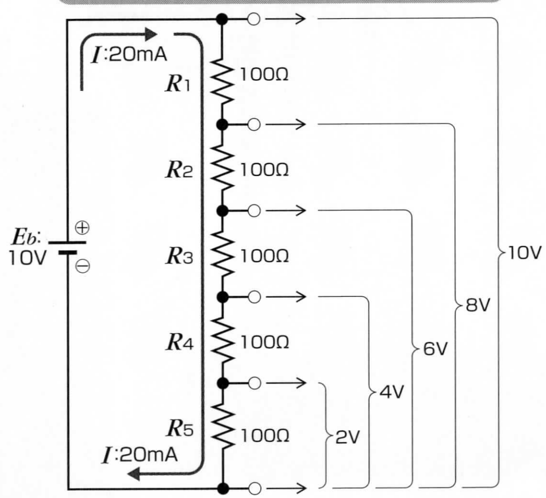


$$R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=100\text{〔Ω〕}$$

$$I\text{〔A〕}=\frac{E\text{〔V〕}}{R_1+R_2+R_3+R_4+R_5}$$

$$I\text{〔A〕}=\frac{5\text{〔V〕}}{500\text{〔Ω〕}}=0.01\text{〔A〕}=10\text{〔mA〕}$$

図1C　図1Aの電源電圧を10Vにすると



$$R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=100\text{〔Ω〕}$$

$$I\text{〔A〕}=\underbrace{\frac{E\text{〔V〕}}{R_1+R_2+R_3+R_4+R_5}}_{\text{合成抵抗500Ω}}$$

$$=\frac{10\text{〔V〕}}{500\text{〔Ω〕}}=0.02\text{〔A〕}$$

$$=20\text{〔mA〕}\quad\text{…④式}$$

5 抵抗の直列接続と並列接続どこが違う

抵抗には直列接続と並列接続がある

いろいろな電気回路を構成する場合、そこにはトランジスタやICなどの能動部品のほか、コイル、抵抗、コンデンサなどの受動部品を必要とします。

この場合、必ずしも目的とする電気部品が入手できないことがあります。たとえば使用部品の耐圧が設計値より低い、電流を十分流せない。あるいは許容電力を保障できないなどのトラブルです。特に微妙な回路電圧や電流の設定のためにJISの標準系列にない抵抗値を必要とする場合など、部品の入手に困ることがあります。このような場合、いろいろな抵抗値の組み合わせで対処しなければなりません。

さて、抵抗のつなぎ方には大きく分けて2種類ありますが、その一つは直列接続法です。これは**図1**のように4個の抵抗をすべて直列につなぎ、目的とする抵抗値を合成する方法です。この方法はR_1の抵抗からR_4の抵抗を全て加えた値となります。たとえば図1のような抵抗値であればその合成抵抗値は50Ωとなります。

もう一つは、**図2**に示す並列接続法であり、これは4個の抵抗をすべて並列につなぎ、必要な抵抗値を作り出す方法です。この方法はR_1からR_4の抵抗の逆数をすべて加えた値の逆数となります。たとえば**図2**のような抵抗であれば、その合成抵抗は12・5Ωとなります。

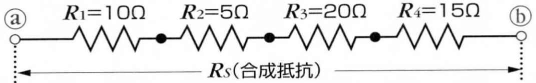
そのほかの接続法としては**図3**の直・並列接続法などがあります。この方法はR_2からR_4の並列合成抵抗にR_1の抵抗を加えたものとなります。なお、二つ以上の抵抗を次々に直列に接続していくと、抵抗値が一個のときよりも多くなることは容易に想像できますが、この場合の合成抵抗値は左頁の①式となります。これに対して抵抗の並列接続は、バイパス道路が沢山できるようなもので、これによって電流の流れがスムーズになり、全体の抵抗値が低下します。この場合の合成抵抗値は左頁の②式となります。

要点BOX
- ●抵抗の直列接続
- ●抵抗の並列接続
- ●抵抗の直・並列接続

抵抗の直列接続と並列接続

図1

●直列接続 の場合： 直列接続の合成抵抗は全部の抵抗値を加えたものとなる



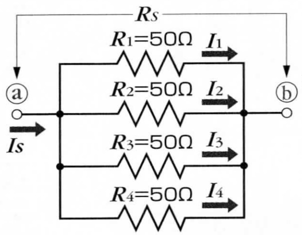
$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad \cdots\cdots ①式$$

①式よりⓐ－ⓑ間の合成抵抗R_Sは

R_S=10+5+20+15=50〔Ω〕となる

図2

●並列接続 の場合： 並列接続の合成抵抗は下記のようになる



$$I_S = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

合成抵抗値は

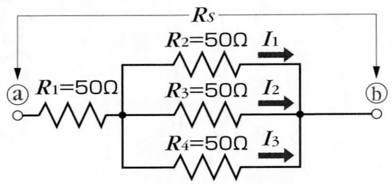
$$R_S = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}} \quad \cdots ②式$$

②式よりⓐ－ⓑ間の合成抵抗R_Sは

$$R_S = \frac{1}{\frac{1}{50}+\frac{1}{50}+\frac{1}{50}+\frac{1}{50}} = 12.5〔Ω〕となる$$

図3

●直並列接続 の場合： 直列接続と並列接続の組合せ

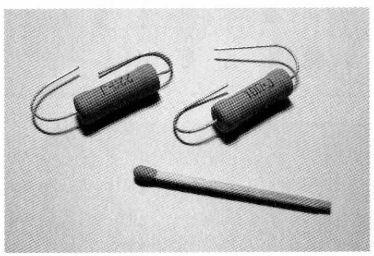


合成抵抗値は

$$R_S = R_1 + \left(\frac{1}{\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}}\right) \quad \cdots ③式$$

③式よりⓐ－ⓑ間の合成抵抗R_Sは

$$R_S = 50〔Ω〕+\left(\frac{1}{\frac{1}{50}+\frac{1}{50}+\frac{1}{50}}\right) = 66.66〔Ω〕となる$$



電力用抵抗の一例
これはカーボン特殊電力用抵抗であり、小型ながら数Wの電力を扱うことができる